

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ

Новое в жизни, науке, технике

Подписная научно-популярная серия

Издается ежемесячно с 1988 г.

Аппаратный состав ЭВМ

1988

5

Новое
в жизни,
науке,
технике

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Издается
ежемесячно
с 1988 г.

5/1988

АППАРАТНЫЙ СОСТАВ ЭВМ

(ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ)

Подписная
научно-
популярная
серия



Издательство
«Знание»
Москва
1988

ББК 32.973
А 76

АВТОРЫ ВЫПУСКА:

СОКОЛОВ Евгений Александрович — кандидат технических наук, доцент института повышения квалификации руководящих работников и специалистов Министерства хлебопродуктов РСФСР.

ВОРОБЬЕВ Николай Васильевич — доцент, ученый секретарь специальных советов. Научный интерес — применение вычислительной техники для автоматической обработки результатов измерений и контроля состояния технологического оборудования.

БУСЛЕНКО Владимир Николаевич — кандидат технических наук, автор более 50 печатных работ в области имитационного моделирования сложных систем на ЭВМ. Участвовал в создании и является руководителем первого в стране центра информатики.

КОБРАНОВ Михаил Евгеньевич — кандидат технических наук, автор около двух десятков печатных работ по технической кибернетике и теории информации. Работает начальником отдела Московского научно-исследовательского центра ГКВТИ.



В НОМЕРЕ:

Редактор Б. М. ВАСИЛЬЕВ



По прогнозам специалистов, персональный компьютер вскоре станет непременной принадлежностью любого производства и даже быта, он будет сопровождать человека в течение всей жизни: в детстве компаньон по играм, позже советчик и учитель, а затем верный и надежный помощник в работе. Однако реализация всех возможностей, заложенных в ЭВМ и в персональные компьютеры в частности, возможна только при наличии у пользователей понимания основных закономерностей функционирования цифровой вычислительной техники.

Интегральные схемы логических операций

Е. А. СОКОЛОВ

Азбука — к мудрости ступенька

Согласно данным, полученным американскими исследователями, лишь 2% потребителей применяют свои мини-компьютеры творчески, полностью используя их потенциал.

Эффективная эксплуатация ЭВМ и современных средств автоматизации, разработка и использование программного обеспечения невозможны без овладения основами схемотехники вычислительных устройств. Все современные средства автоматизации и электронные вычислительные машины построены на бесконтактных логических элементах. Теоретической базой при разработке самих логических элементов и различных устройств, построенных на их основе, служит алгебра релейных цепей, которая, в свою очередь, ведет свое начало от математической логики и алгебры множеств. В связи с быстрым распространением персональных компьютеров приобретение элементарных знаний по теории и практике применения логических элементов становится совершенно необходимым для специалистов, весьма далеких от автоматики и вычислительной техники.

Может возникнуть вопрос: а так ли необходимы эти знания при работе с новейшими системами автоматики и ЭВМ? Ведь любой из нас отлично управляется с цветным телевизором, хотя мало кто имеет представление о том, как он устроен. Для многих радиоприемник или магнитофон — волшебная музыкальная шкатулка, а из миллионов автолюбителей многие не отличат карбюратор от прерывателя-распределителя. Но если представление о работе телевизора, приемника или автомобиля — это вопрос эрудиции и технической культуры человека и пользование ими вполне возможно без понимания принципов их работы, то при работе с ЭВМ представление о ее устройстве и закономерностях функционирования совершенно необходимо для успешного и эффективного ее применения.

Умение обращаться и общаться с ЭВМ — это показатель компьютерной грамотности человека, которая становится составной частью общей грамотности наряду с умением читать, писать, считать и т. д.

Многолетний опыт преподавания в Институте повышения квалификации руководящих работников и специалистов показал, что даже специалисты с высшим образованием, недавно окончившие вузы по специальностям, связанным с автоматикой и вычислительной техникой, очень слабо разбираются в теории и практике применения логических элементов. Еще хуже, а практически совсем незнакомы с этими вопросами специалисты со средним специальным и общим образованием.

Имеющаяся по этому поводу литература в основном предназначена для пользователей высокой квалификации (например, для проектировщиков вы-

числительных машин). Популярной литературы, доступной слабо или совсем неподготовленному читателю, практически нет. Отдельные разрозненные сведения разбросаны в различных изданиях, посвященных математической логике, кибернетике, вычислительной технике, автоматике.

Понимание изложенного материала не требует никакой специальной подготовки, достаточно знаний, полученных в средней школе. Изложение в полной мере доступно учащимся старших классов общеобразовательных школ и ПТУ.

Аристотель, сын сапожника и «Алиса в стране чудес»

Столь странное название главы, посвященной основам автоматики и вычислительной техники, не должно смущать читателя, оно показывает лишь сложный и длительный путь развития теории релейных устройств, являющейся одним из важнейших технических приложений математической логики.

Математическая логика — наука, которая сформировалась в последнее столетие, когда все основные разделы математики были уже созданы и подробно разработаны. По возрасту своему она является правнучкой арифметики, алгебры, дифференциального и интегрального исчисления и многих других математических дисциплин, но по сути своей ее вполне можно считать родоначальницей всех математических наук. Если бы мне поручили составить программу обучения математике, я сначала предложил бы изучать математическую логику (конечно, в каком-то определенном объеме), а затем арифметику, алгебру и т. д. Тем более что для изучения основ математической логики не нужно уметь считать даже до двух, достаточно до одного, а после освоения ее азов все теперешние трудности с арифметикой, алгеброй, дифференциальными и интегральными уравнениями покажутся просто забавой.

Иметь элементарные понятия об этой удивительной науке необходимо каждому независимо от специальности. Изучая математику в школе, а затем еще и в техникуме, и в институте, подавляющее большинство из нас почти не пользуется полученными знаниями ни на работе, ни в повседневной жизни. Все эти биномы, дифференциалы, интегралы, ряды, ..., дивергенции быстро забываются.

Сделайте небольшой эксперимент — спросите одного (или одну) из ваших знакомых, имеющих высшее техническое образование (разумеется, по работе не связанных с математикой): что такое набла-вектор? Я уверен, что вы не получите вразумительного ответа, а это далеко не самый сложный раздел высшей математики.

Математическая логика из тех наук, которая не может быть забыта, потому что она используется нами каждый день на службе (независимо от области, в которой мы трудимся), дома, в письменной и устной речи. Размышляя о чем-нибудь, мы бессознательно постоянно пользуемся математической логикой, даже если никогда ничего не слышали о ней. И еще — ее очень интересно изучать. Читая сложные университетские учебники по математической логике, постоянно ловишь себя на мысли, что все это ты давно знал, но просто не мог так ясно для себя сформулировать.

Задачи по большинству разделов математической логики так занимательны, что решать их доставляет истинное наслаждение. Вот одна из изящных задач замечательного английского математика преподавателя Оксфордского колледжа Чарлза Латуиджа Доджсона, которого большинство из нас знают как талантливого писателя под именем Льюиса Кэрролла — автора «Алисы в стране чудес» и ряда других книг. Эта задача взята из книги «История с узелками», которая одновременно является учебником по математической логике и прекрасным художественным произведением.

Вот эта задача.

Какой вывод можно сделать на

основании следующих сведений:

1. Котенок, который любит рыбу, поддается дрессировке.

2. Котенок без хвоста не станет играть с гориллой.

3. Котята с усами всегда любят рыбу.

4. У котенка, поддающегося дрессировке, не бывает зеленых глаз.

5. Если у котенка нет хвоста, то у него нет усов.

Ответ: ни один котенок с зелеными глазами не станет играть с гориллой.

Уверен, что без знания алгебры высказываний вам не удастся получить этот ответ. Хочется верить, что после знакомства с брошюрой это не составит для вас труда.

Кэрролл как математик не получил признания у современников. О нем снисходительно говорили, что он лучший математик среди писателей и лучший писатель среди математиков. Думается, что ни современники Ч. Л. Доджсона, ни большинство сегодняшних ученых не оценили его по достоинству. По мнению одного из выдающихся математиков и философов Бертрана Рассела, «Алиса в стране чудес» только по форме является детской сказкой, на самом деле это бесконечно глубокая по своему философскому и математическому содержанию книга, из которой черпают идеи представители многих наук, не существовавших во времена Кэрролла (семантика, информатика, семиотика...).

Весьма интересно, что одна из его работ пока не поддается переводу, и отнюдь не только по причине языковых трудностей. Следует думать, что работы Кэрролла намного опередили время и настоящее его признание еще впереди.

Что же это за наука — математическая логика? Как видно из названия, она имеет отношение и к логике, и к математике. Чего же в ней больше — логики или математики, и что она — раздел математики или раздел логики, а может быть, вообще математика — один из разделов логики?

Как всегда, ученые разделились. На этот раз на три лагеря. Одни из них считают, что математика раздел логики, которая является первоосновой всей математической науки, а логику от математики следует отличать только из чисто практических удобств. Другие доказывают, что логика — раздел математики, а третьи утверждают, что математика — это совокупность абстрактных построений и в логике не нуждается.

Вообще этот вопрос очень сложный, затрагивающий некоторые мировоззренческие позиции, во всяком случае, одно из распространенных мнений, что математическая логика не есть раздел математики. Здесь не место решать такие глубокие уже не столько математические, сколько философские споры, главное для нас то, что в этой науке действительно много и от логики и от математики. Наука эта очень обширна, основные ее разделы следующие:

1. Булева алгебра.
2. Основания математики.
3. Алгебра отношений.
4. Теория доказательств.

Из этих четырех разделов совершенно необходимым для проектирования и работы с современными средствами автоматики и вычислительной техники является первый, из него в качестве технического приложения и берет начало релейная алгебра. Без большой натяжки можно считать, что он является основой всех остальных разделов математической логики.

Следует думать, что остальные разделы тоже со временем выйдут из чисто теоретических дисциплин и найдут применение при создании вычислительной техники следующих поколений.

Тем не менее ограничимся при изучении основ математической логики первым разделом. Этого вполне достаточно для целей нашего изложения.

Пусть ученые продолжают свой спор, но в любом случае математическая логика тесно связана с логикой и обязана ей своим возникновением. Основы науки логики были созданы величайшим древнегреческим философом Аристотелем более 2300



лет назад. Логика — это наука о законах и формах человеческого мышления (отсюда одно из названий — формальная логика).

Следует заметить, что законы мышления, сформулированные Аристотелем, не есть абстрактные построения, они отражают в сознании человека свойства, связи и отношения предметов объективной действительности. «Логические формы и законы, — писал В. И. Ленин, — не пустая оболочка, а отражение объективного мира»[1]. Эти законы существовали и до Аристотеля, человек неосознанно пользовался ими, что помогало ему познавать окружающий мир, взаимосвязь явлений, себя.

В своих трактатах Аристотель первым обстоятельно исследовал терминологию логики, подробно разобрал теорию умозаключений и доказательств, описал ряд логических операций, сформулировал основные законы мышления, в том числе законы противоречия и исключения третьего.

Конечно, и до Аристотеля были философы, близко подходившие к ряду положений логики, и после него было много ученых и в древние, и в средние века, внесших определенный вклад в эту науку. Однако следует отдать должное Аристотелю — его вклад в логику очень велик, и недаром одно из ее названий — аристотелева логика.

Уже сам Аристотель заметил много общего между созданной им наукой и математикой, точнее, тогда еще арифметикой. Отмечая их поразительную строгость, он пытался соединить эти две науки, т. е. свести размышление, или, вернее, умозаключение, к вычислению на основании исходных положений. В одном из своих трактатов он вплотную подошел к одному из разделов математической логики — теории доказательств. Однако это было бы слишком много для одного человека, сделать следующий шаг — перейти к символической логике — Аристотель не смог.

Многие философы и математики в дальнейшем развивали отдельные положения логики, иногда довольно прозорливо предвосхищая современное исчисление высказываний, однако не будем утомлять читателя многочисленными именами и иногда очень увлекательными подробностями — сразу перенесемся во вторую половину XVII века. В это время работал выдающийся математик Лейбниц. Он весьма близко подходит к созданию символической логики, во всяком случае, его работы послужили толчком для создания рядом математиков важнейших работ в области математической логики.

Лейбниц задумал усовершенствовать логику Аристотеля, сделав из нее не только стройную систему суждений и доказательств известных истин, но и инструмент для изобретения и открытия новых истин. Он предложил проанализировать все известные понятия и свести их к сочетаниям простых понятий. На основе целесообразно подобранной символики эти простые понятия составят универсальный научный язык. Далее, считал Лейбниц, следует создать четко сформулированные правила действия с этими символами, так как это сделано в общей алгебре. Универсальные символы, связанные по определенным правилам, составят формулы, которые послужат основой для создания так называемой символьной логики, в кото-

[1] Ленин В. И. Полн. собр. соч. — Т. 29. — С. 162.

рой над исходными понятиями можно будет производить действия, подобные тем, которые проводятся в математике над числами.

Идея использования символов вместо слов обычного языка не нова. Вообще говоря, и сам наш язык в определенном смысле является символьным, так как разнообразные сочетания звуков шифруют какой-либо предмет или явление окружающего нас мира, связь между ними или какое-нибудь понятие. Более наглядно символы проявляются в таких научных дисциплинах, как химия, физика. Действительно, было бы очень нетрудно описывать различные вещества и реакции между ними словами. Химические формулы не только позволяют обозначить бесконечное множество веществ, но и преобразование этих формул, проведенное по определенным правилам, отражает действительный ход химических реакций. Подобно этому физические формулы при их преобразовании в соответствии с принятыми правилами соответствуют реальным физическим процессам.

Таким образом, если в какой-либо области знаний символы и правила действия с ними выбраны правильно — вся символьная система отражает объективную реальность, и преобразование символьных формул адекватно соответствует процессам, происходящим в действительности.

Собственно, вся история развития математики во многом заключается в совершенствовании как самих математических символов, так и правил действий над ними. Наглядный пример: введение символа для обозначения понятия «ничто», т. е. «0», которое в значительной степени облегчило арифметические действия и дало толчок в развитии многих направлений математики. Развитие алгебры целиком связано с эволюцией математической символики, трудно переоценить введение таких символов, как $\int$, dx, и др. Использование символов и правил действия с ними становится не только результатом развития многих наук, но, в свою очередь, служит их дальнейшему подъему.

Лейбниц больше поставил задач по созданию символической логики, чем решил их. Однако он правильно сформулировал эти задачи, и его идеи оказали влияние на последующие работы ученых в области математической логики.

Следует заметить, что термины «символическая» и «математическая логика» полностью тождественны. В отечественной литературе чаще используется термин «математическая логика», полнее выражающий основную сущность этой науки — использование логических исчислений.

К созданию математической логики ученые пришли с двух сторон. Логики искали символы и математический аппарат для исчисления высказываний, а математики нуждались в теории математических доказательств и пытались применить логику к вопросам оснований математики. После Лейбница в этой области работали такие выдающиеся ученые, как Эйлер, Венн, Ламберт, и многие другие. Однако первой по-настоящему успешной попыткой создания логического исчисления стала алгебра логики, предложенная Джорджем Булем, основой которой стала разработанная им алгебра высказываний.

Дж. Буль (1815—1864) родился в Линкольне (Англия) в семье сапожного мастера. Материальное положение его родителей позволило ему окончить только начальную школу для бедняков. Затем он, сменив несколько профессий, открыл маленькую школу, где сам преподавал. Много занимался самообразованием, увлекся идеями символической логики и уже в 1847 году опубликовал работу «Математический анализ логики или опыт исчисления дедуктивных умозаключений». Следующая его работа появилась в 1848 году, и в 1854 году вышел основной труд Дж. Буля «Исследование законов мышления, на коих основаны математические теории логики и вероятностей».

Эти труды ныне причисляются к математической классике, от них ведет свое начало математическая логика в современном понимании этой науки.

Дж. Буль осуществил выбор символического языка, вывел законы, определяющие правила операций над этими символами, впервые применил количественное исследование логических задач. Понятие «решить логическое уравнение» приобрело после работ Буля конкретный математический смысл.

Формальная логика облеклась в форму правил действий над символами, согласно которым одна комбинация символов преобразовывалась в другую, эквивалентную ей. При преобразованиях не принималось во внимание логическое содержание символов, их считали количественными переменными, и их логическая интерпретация вновь обретала смысл лишь в конце решения.

Отдельные положения работ Дж. Буля в той или иной степени были затронуты ранее в работах других математиков; в трудах последующих логиков и математиков уточнялась символика, упрощались правила проведения операций и истолкования символических выражений, совершенствовалась методика решения логических уравнений.

В настоящее время булева алгебра и алгебра высказываний по форме в значительной степени отличается от их первоначального вида, предложенного Дж. Булем. Однако вряд ли имеет смысл при изложении в последующих главах этих элементов математической логики говорить о том, что сделал Буль, что — его предшественники, а что — последователи.

Дж. Буль по праву считается основателем современной математической логики и тем более одних из ее важнейших разделов — булевой алгебры и алгебры высказываний.

Это истинно — ибо абсурдно: 2+2=2

Строго говоря, для того чтобы изучать алгебру релейных схем и теорию бесконтактных логических элементов, для чего, собственно, и предназначен этот рассказ, совсем не обязательно знакомиться с алгеброй множеств, которой посвящена настоящая глава, и алгеброй высказываний, изложенной в следующей главе. Алгебра множеств и алгебра высказываний являются конкретными реализациями так называемой булевой структуры.

Булева структура — это в значительной степени абстрактное математическое построение, представляющее собой набор символов и аксиом, определяющих правила действия над этими символами. Ни в сами символы, ни в правила действия с ними, ни в аксиомы никакого понятийного содержания не вкладывается. Неподготовленному читателю изучать булеву структуру сложно, да и не нужно.

Булева структура конкретно реализуется при вкладывании в символы каких-либо понятий через модели. Такими моделями являются алгебра множеств, алгебра высказываний и алгебра релейных схем. Существует множество других моделей, и наверное, будут созданы еще, однако для предмета нашего разговора достаточно перечисленных трех.

В литературе часто говорится, что алгебра релейных схем есть техническое приложение к алгебре высказываний. На мой взгляд, это совершенно неверно. Алгебра релейных схем является такой же реализацией булевой структуры, как, например, алгебра множеств и алгебра высказываний, и алгебра релейных схем ни в коем случае не следствие из последней.

Однако исторически действительно алгебра релейных схем появилась после алгебры высказываний и в связи с ней. Кроме того, ряд положений алгебры релейных схем, особенно при проектировании автоматических устройств, более наглядно интерпретируется при помощи понятий алгебры высказываний. Особенно полезно знакомство с ней при освоении вычислительной техники и программирования.

Сама алгебра высказываний сформировалась после того, как достаточно подробно была разработана алгебра множеств, и многие ее положения

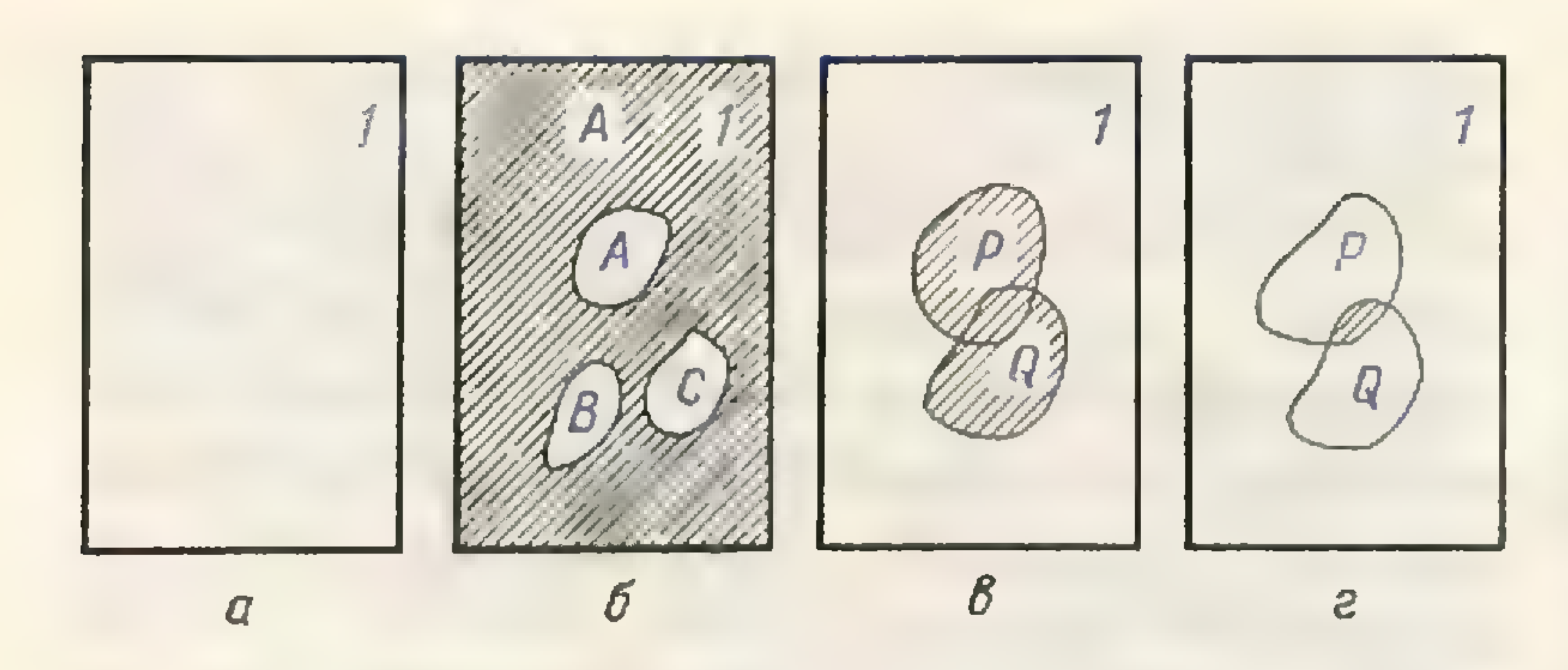


Рис. 1. Диаграммы Венна

легче усваиваются после знакомства с последней.

Итак, мне представляется излишним останавливаться здесь на абстрактной булевой структуре, а для тех, кто решил приобщиться к теоретическим основам современной автоматики и вычислительной техники, знакомство с алгеброй множеств и алгеброй высказываний считаю абсолютно необходимым.

Что же такое алгебра множеств? Легче всего ее изучать при помощи диаграмм Венна (иногда их называют диаграммами Эйлера).

Посмотрите на рис 1 а. На нем изображен прямоугольник, а в нем единица. Это всеобщее универсальное множество, в него входит все: любые предметы или явления окружающего нас мира, понятия и вообще все, что мы можем увидеть, услышать, назвать или представить. Вы хотите примеры? Пожалуйста! Это книги, которые стоят у вас на полке; звезды, которые светят на небе; пуговицы, звери московского зоопарка, буквы русского алфавита, дождь, цифры, вы сами и ваши друзья, шахматные фигуры... Вы уже поняли, что сами можете продолжать. Причем не обязательно предметы или явления должны существовать в действительности. Это могут быть: ведьма, летающая тарелка, загадочная Несси и т. д.

Таким образом, мы определили первое понятие алгебры множеств:

1 — всеобщее универсальное множество, содержащее все мыслимые элементы.

На рис. 1 б на прямоугольнике нарисована фигура, обозначенная символом A. Это какое-то конкретное множество; допустим, это гласные буквы русского алфавита. Рядом находится фигура, обозначенная символом B — это тигры, которые живут в лейпцигском зоопарке. Здесь же фигура C — что это за множество, придумайте сами. Элементов, входящих в какое-либо множество, не обязательно должно быть много. Оно может состоять из одного элемента: например: множество L — цифра 2.

Вот мы и познакомились со вторым понятием — **множествами, составляющими всеобщее универсальное множество.** Отдельные множества обозначаются какими-либо символами, например, прописными буквами латинского алфавита. Записывается это в символах следующим образом: 1 (A, B, C...).

Давайте введем следующее понятие: **«0» — нулевое множество, т. е. множество, в котором нет ни одного элемента.** Мне кажется, это совсем просто.

Рассмотрим следующее понятие алгебры множеств — «множество с чертой», обозначаемое «$\overline{A}$». Вы, конечно, понимаете, что вместо A может стоять любая буква латинского алфавита. **$\overline{A}$ — называется дополнением множества A и означает все, кроме A, т. е. все элементы всеобщего универсального множества за исключением** A. На рис. 1б под множеством $\overline{A}$ понимается вся площадь прямоугольника (заштрихована), кроме занятой фигурой (множеством) A.

Над всеми рассмотренными выше символами в алгебре множеств можно производить математические действия. Эти действия обозначаются следующим образом: сложение — «+», умножение « • ».

Следует заметить, что в эти термины в алгебре множеств вкладывается совсем другой смысл, чем в арифметике или общей алгебре. В литературе часто употребляется для сложения термин «объединение», или «дизъюнкция», и символы «V» или «∪».

Давайте все же в этой книге пользоваться термином «сложение» и символом «+».

Если вам встретится термин «пересечение», или «конъюнкция», и символы «Λ», «Ω», или «&», то под этим подразумевается «умножение».

Рассмотрим смысл, вкладываемый в операцию «сложение». Пусть множество Q — это четные числа: 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16,..., а множество P — это числа, делящиеся на три: 3, 6, 12, 15... Существует множество N, которое является суммой множеств Q и P:

$$N=Q+P.$$

На диаграмме (рис. 1в) — это заштрихованная площадь, объединяющая фигуры Q и P, а практически — это вместе числа четные и делящиеся на три: N=2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16... Что подразумевается под термином «умножение»? Существует такое множество M, которое является произведением множеств Q и P: $M=Q \cdot P$. Множество M состоит из чисел, общих для множеств Q и P, на диаграмме (рис. 1г) это площадь, общая для фигур Q и P. M=6, 12...

В алгебре множеств сохраняют силу законы арифметики, известные нам с начальной школы: от перемены мест слагаемых сумма не меняется (коммутативный закон для сложения), сомножители можно менять местами (коммутативный закон для умножения). Действительно, какая разница, в каком порядке мы начнем заштриховывать площадь фигур на диаграмме 1в, или разве существенно, какую фигуру на диаграмме 1г мы нарисуем первой Q или P.

$$M=Q+P=P+Q;$$
$$M=Q \cdot P=P \cdot Q.$$

Сохраняют свое действие известные нам ассоциативные законы для сложения и умножения.

$$K=Q+P+S=(Q+P)+S=Q+(P+S);$$
$$W=Q \cdot P \cdot S=(Q \cdot P) \cdot S=Q \cdot (P \cdot S).$$

Смысл этих законов очевиден и, мне кажется, не нуждается в пояснениях.

Рассмотренные выше законы совпадают с знакомыми нам законами арифметики и алгебры, однако алгебра множеств имеет весьма интересные и важные отличия. Как вы думаете, сколько будет A+A? Нет, вы не угадали! Не 2A, а просто A. Ведь множество A всегда собрание каких-то конкретных элементов. Пусть, например, A — деньги, лежащие у вас в кармане. Разве оттого, что вы их сложите с ними же, их станет больше? Нет! Для этого их надо сложить с какими-либо другими деньгами, составляющими другое множество B. Таким образом, в алгебре множеств символы, обозначающие конкретные множества, не могут иметь никаких коэффициентов: не может быть ни 2A, ни 17A, ни 5B и т. д.

Именно поэтому в названии этой главы нет никакой ошибки.

Ранее мы обозначили символом L множество, которое состоит из одной цифры 2.

$L+L=L$, если вместо символа подставим множество, которое оно обозначает, то выражение

2+2=2 будет совершенно правильным.

Теперь вы легко догадаетесь, что $A \cdot A$ будет не A^2, а A, т. е. в этой алгебре не бывает никаких степеней, кроме первой, у символов, обозначающих множества.

Подумайте, сколько будет 1+A? Будет 1! Ведь 1 — это всеобщее универсальное множество, в нем уже все есть, и ничего добавить к нему нельзя.

$1 \cdot A=A$. Действительно, какие общие элементы у всеобщего универсального множества и множества A? Конечно, это элементы множества A!

$$A+0=A;\ 1+0=1;$$
$$A \cdot 0=0;\ 1 \cdot 0=0.$$

Эти равенства достаточно очевидны. А теперь самое интересное!

Чему равняется $A+\overline{A}$? Не торопитесь перескакивать через несколько строчек и смотреть ответ. Подумайте несколько минут. Не получается — отложите книгу, не пожалейте нескольких часов, только не торопитесь с ответом. Если нужно, перечитайте эту главу сначала.

Вы можете гордиться собой, если удалось найти правильный ответ самостоятельно. Вы открыли и записали в символической форме один из важнейших законов логики, сформулирован-

ный еще Аристотелем, — закон исключения третьего.

Вспомним, что есть операция сложения в алгебре множества? Это объединение элементов двух множеств, а если объединить А и все кроме А (т. е. $\overline{A}$), то получится «все», т. е. 1 (всеобщее универсальное множество).

Итак, $A+\overline{A}=1$, **хорошо запомните это выражение,** почему оно является законом исключения третьего, вы узнаете из следующей главы.

Хотите сами открыть еще один из законов аристотелевой логики? Тогда скажите, чему равняется $A\cdot\overline{A}$? Правильно! $A\cdot\overline{A}=0$. **Это запись в символической форме закона противоречия.** Почему? Об этом тоже в следующей главе.

Символы, обозначающие множества, соединенные между собой знаками «+», «•» и скобками, образуют формулы алгебры множеств, которые можно преобразовывать по известным нам школьным правилам с учетом своеобразия булевой алгебры.

Рассмотрим произвольное выражение:

$$Y=[(A+\overline{A}\cdot B)\cdot(B+C)+(\overline{C}+A\cdot C)]\cdot\overline{A}.$$

Согласно известным правилам перемножим выражения в круглых скобках, после чего получим:

$$Y=[A\cdot B+A\cdot C+\overline{A}\cdot B\cdot B+\overline{A}\cdot B\cdot C+\overline{C}+A\cdot C]\cdot\overline{A}.$$

В квадратных скобках два раза встречается выражение А • С, так как сумма двух одинаковых множеств равняется множеству с коэффициентом единица, то одно из этих выражений можно опустить.

В произведении $\overline{A}\cdot B\cdot B$ одно из множеств В можно не принимать во внимание. С учетом сказанного выражение можно переписать следующим образом:

$$Y=[A\cdot B+\overline{A}\cdot B+A\cdot C+\overline{A}\cdot B\cdot C+\overline{C}]\cdot\overline{A}.$$

Вынесем из слагаемых общие сомножители, выражение примет вид:

$$Y=[B\cdot(A+\overline{A})+C(A+\overline{A})+\overline{C}]\cdot\overline{A}.$$

Но $A+\overline{A}=1$, тогда $Y=[B+C+\overline{C}]\cdot\overline{A}$.
Так как $C+\overline{C}=1$,
то получим $Y=[B+1]\cdot\overline{A}$,
но $B+1=1$.
После проведенных преобразований получаем окончательное выражение: $Y=\overline{A}$.

Как видно из рассмотренного примера, преобразования в алгебре множеств даже несколько проще, чем в традиционной математике.

Следующее равенство вы докажите самостоятельно:

$$\left\{[(A\cdot B+\overline{C}\cdot\overline{B})\cdot A\cdot B+(C+\overline{A}\cdot\overline{B})\cdot C]+(\overline{C}\cdot A+A)\cdot B\right\}\cdot(C+A)=\overline{A}\cdot B\cdot C+C\cdot A.$$

Итак, мы познакомились с алгеброй множеств в объеме, достаточном для того, чтобы перейти к изучению алгебры высказываний и алгебры релейных схем. Следует привести, правда без доказательства (хотя они весьма просты), одну из наиболее часто встречающихся в математической логике теорем (или правил) де Моргана:

а) $\overline{A+B}=\overline{A}\cdot\overline{B}$ и

б) $\overline{A\cdot B}=\overline{A}+\overline{B}$.

Особенно важную роль играют эти правила, связывающие операции «+» и «•» в алгебре релейных схем. Конечно, алгебра множеств гораздо обширнее, кроме изученных нами сложения и умножения, в ней есть и вычитание, имеются еще разные интересные свойства и особенности, однако пусть это останется для самостоятельного изучения тем, кто ею очень заинтересовался.

Кто разбил чашку?

Из предыдущей главы мы уяснили, что алгебра множеств оперирует символами в виде прописных букв латинского алфавита (А, В, С,...), знаками «+» («сложение»), «•» («умножение»), «—» («дополнение» или «черта»). Имеются, кроме того, понятия «0», «1», «=», а также скобки разной конфигурации, определяющие порядок преобразования выражений.

Давайте оставим все те же символы

и правила преобразования, только вложим в них другое смысловое содержание. Пусть буквы латинского алфавита обозначают не множества, а высказывания.

Что такое высказывание? Это предложение, которое имеет ясный смысл и о котором можно сказать — правда ли то, о чем говорится в нем, или нет.

Вот примеры высказываний:

A. 2 — четное число.

B. Москва — столица СССР.

C. Сегодня — четверг.

D. Удельный вес ртути — 12,6 г/см^3.

F. У меня есть кошка.

Высказывания не обязательно должны быть правильными.

G. 5. — четное число.

H. Волга впадает в Балтийское море.

Q. Заяц умеет летать.

О некоторых высказываниях мы не можем сказать достоверно, содержат они правду или нет.

P. На Марсе есть жизнь.

L. Летающие тарелки существуют.

M. В горах Памира водится снежный человек.

N. В завтрашнем хоккейном матче победит «Спартак».

Не являются высказываниями предложения следующего вида.

S. Длина хорошего настроения 23 тонны.

W. Буква И не умеет водить автомобиль.

Под «1» в алгебре высказываний будем понимать истину (правду), «0» пусть означает ложь.

В операцию сложения вложим следующий смысл: если какие-либо высказывания соединены знаком «+», то это значит, что между ними поставлен союз «или». Таким образом, $A+F$ для приведенных выше примеров высказываний означает: «2 — четное число или у меня есть кошка».

Умножение высказываний есть соединение их союзом «и». Таким образом, $A \cdot L$ соответствует выражению — «2 — четное число и у меня есть кошка».

$\overline{A}$ означает отрицание высказывания, что равносильно подстановке в него союза «не». $\overline{A}$ можно прочесть — «2 — нечетное число» (или — это неверно, что 2 — четное число).

Символы, обозначающие высказывания и их отрицания, соединенные знаками «+» и «•», образуют выражения или формулы, правила преобразования которых аналогичны правилам алгебры множеств. По смыслу это сложные высказывания, состоящие из элементарных, соединенных союзами «или», «и», «не».

Алгебра высказываний оперирует с символами, смысловое содержание которых не имеет значения во время преобразований, и поэтому в формулах могут комбинироваться символы, обозначающие высказывания, не имеющие между собой никакой смысловой связи. Однако для понимания смысла и правил преобразований разберем их на примерах, где понятия, образующие высказывания, связаны по смыслу.

Возьмем два простых высказывания, одно из приведенных ранее — F «У меня есть кошка» и другое — «У меня есть собака», которое обозначим буквой W. Рассмотрим операцию сложения. $F+W$ означает «У меня есть кошка или у меня есть собака» (проще — «У меня есть кошка или собака»). Если у меня действительно есть кошка, то $F=1$, а если ее у меня нет, то $F=0$, аналогично для высказывания W:

F	W	+
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1.

В чем ее смысл? Если у меня нет ни кошки, ни собаки (т. е. $F=0$ и $W=0$), то предложение «У меня есть собака или кошка» есть ложь ($F+W=0$). Если у меня есть кошка, но нет собаки, т. е. $F=1$, а $W=0$, то $F+W=1$, что очевидно из соображения здравого смысла: раз у меня есть кошка, то для истинности сложного высказывания совершенно неважно, что у меня нет собаки — ведь я сказал «или». Для случая $F=0$ и $W=1$, $F+W=1$ по тем же причинам. Не вызывает сомнения, что $F+W=1$ при $F=1$ и $W=1$.

Следует заметить, что эту таблицу истинности мы могли бы получить, не обращаясь к здравому смыслу, а чисто формально, пользуясь правилами сложения булевой алгебры, с которыми мы ознакомились в алгебре множеств:

$$0+0=0$$
$$1+0=1$$
$$0+1=1$$
$$1+1=1.$$

Теперь посмотрим, в чем же заключается в алгебре высказываний операция « • ». Возьмем два предыдущих высказывания, $F \cdot V$ означает — «У меня есть кошка и собака». Таблица истинности для этой операции примет следующий вид:

F	V	•
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1.

Не трудно понять, что предложение $F \cdot W$ будет истинным только в случае, когда у меня есть и кошка и собака. Эту таблицу, как и в предыдущем случае, мы можем получить, пользуясь правилами умножения булевой алгебры, не прибегая к смысловому анализу высказываний:

$$0 \cdot 0=0$$
$$1 \cdot 0=0$$
$$0 \cdot 1=0$$
$$1 \cdot 1=1.$$

Существует таблица истинности для операции «не».

F	F
1	0
0	1.

Ее логический смысл в следующем: если у меня есть кошка, т. е. $F=1$, то $\overline{F}=0$ (высказывание «У меня нет кошки» — ложь; а если $F=0$, то $\overline{F}=1$).

Давайте вспомним выведенные нами ранее формулы $A+\overline{A}=1$ и $A \cdot \overline{A}=0$. Подставим в них какое-либо высказывание и проверим, верны ли они. Высказывание A в наших примерах — «2 — четное число». При замене символа в первой формуле получим: «Это верно, что 2 — четное число или 2 — нечетное число». Но ведь это действительно верно! 2 или четное число или нечетное, третьего не дано. Эта формула является символической записью закона исключения третьего, играющего важную роль в формальной логике.

Вот как звучит этот закон: **Два противоречивых суждения (высказывания в нашем случае) не могут быть одновременно ложными, одно из них необходимо истинно.**

Возьмем другие высказывания, даже заведомо ложные. $Q+\overline{Q}=1$, это значит: «Верно, что заяц умеет летать или не умеет». Если мы рассмотрим высказывание, истинность которого мы не знаем, закон все равно сохраняет силу. $P+\overline{P}=1$ — это верно, что на Марсе есть жизнь или нет.

Проверим другую формулу. При замене символов на соответствующие им высказывания получаем следующие предложения: это неверно, что 2 — четное число и нечетное; или это неверно, что зайцы умеют летать и не умеют. В самом деле, разве может быть одновременно какое-либо число четным и нечетным, возможно ли, чтобы кто-то умел и не умел летать.

Эта формула — записанный в символической форме логический закон противоречия (иногда это называют законом непротиворечия). В аристотелевой логике он формулируется так: два несовместимых друг с другом суждения не могут быть одновременно истинными; по крайней мере одно из них необходимо ложно.

Алгебра высказываний позволяет вычислять следствия из таких сложных комбинаций элементарных высказываний, в которых при словесном их изложении разобраться невозможно. Давайте рассмотрим один из примеров, где наглядно проявляются ее возможности. Здесь не место заниматься громоздкими задачами, желающие найдут их в обширной специальной литературе по математической логике. Для того чтобы понять

методику решения логических задач, достаточно несложного примера.

Все вы, наверное, помните небольшую лирическую повесть А. Гайдара «Голубая чашка». Отдадим должное литературным достоинствам этого произведения и попробуем, используя одну из его сюжетных линий, продемонстрировать возможности алгебры высказываний.

Основной конфликт завязывается вокруг голубой чашки. Маруся (это мама главной героини повести — Светланы, которой уже исполнилось шесть с половиной лет) считает, что муж и дочка разбили ее любимую голубую чашку, а они это отрицают. Обидевшись, папа с дочкой даже бегут из дома, правда, только на несколько часов. Хотя история заканчивается благополучно, не совсем ясно — кто же разбил любимую чашку Маруси. Давайте попробуем выручить симпатичных героев и разобраться в этой запутанной детективной истории. Для тех, кто давно не перечитывал повести, напомню, что же там происходило.

Маруся, обнаружив в чулане разбитую голубую чашку, говорит мужу и дочке: «Лучше сознавайтесь, озорной народ, что в чулане мою голубую чашку разбили!»

Дочка посмотрела на папу и подумала, что это уж на них Маруся говорит совсем напрасно. Папа даже высказал предположение, что Маруся сама разбила чашку и забыла про это. В этой истории замешаны еще злые серые мыши. Возьмем на себя смелость в ущерб эстетическим качествам повести переписать эту историю в виде высказываний.

Маруся сказала: «Чашку разбили муж и дочка». Слова Маруси обозначим как высказывание «A».

Светлана говорит: «Мы чашку не разбивали». По смыслу это отрицание предыдущего высказывания, поэтому обозначим его « $\overline{A}$ ».

Слова папы «Это сделала Маруся» рассматриваем как высказывание «B».

Ну а мыши разве сознаются, будем считать, что они заявляют, что чашки не разбивали, — высказывание «C».

Составим логическое уравнение этой истории.

Примем как условие задачи, что прав в своих высказываниях кто-то один. По условию задачи верно высказывание A, или $\overline{A}$, или B, или C, тогда уравнение будет выглядеть следующим образом: $Y=A+\overline{A}+B+C=1$.

Ведь по условию задачи в одном из высказываний заключена истина, поэтому их сумма равняется 1, так как согласно таблице истинности для операции логического сложения, для того чтобы сумма высказываний была истинной, достаточно быть истинным одному любому высказыванию.

Согласно закону исключения третьего $A+\overline{A}=1$, т. е. в высказывании A или $\overline{A}$, обязательно содержится правда, а раз так, то высказывания B и C содержат ложь, это значит $B=0$ и $C=0$.

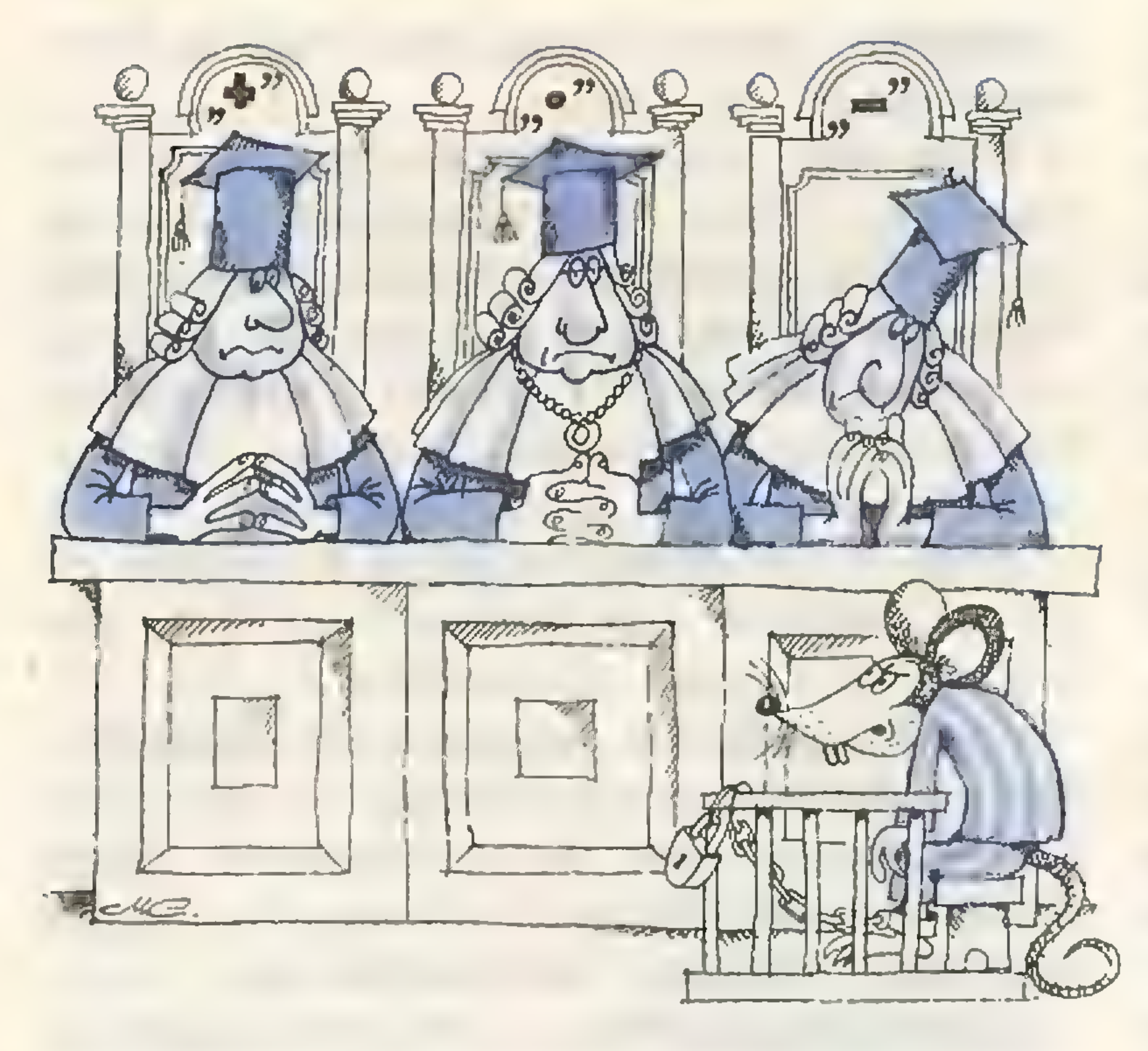
Если B — ложь, то правда — $\overline{B}$, аналогичным образом является правдой $\overline{C}$. Таким образом, $\overline{B}=1$ и $\overline{C}=1$.

Отсюда следует, что высказывание папы неправильно, и Маруся чашки не разбивала, а вот мыши зря отпирались, именно они разбили чашку, так как истиной является отрицание их высказывания.

Таким образом, любая логическая задача для решения ее в символах алгебры логики должна быть представлена в виде элементарных высказываний, связанных между собой союзами, и преобразована затем в выражение, в которое входят символы, соответствующие отдельным высказываниям. Символы связаны между собой знаками логических операций. Далее либо производят эквивалентные преобразования (подобно рассмотренным в алгебре множеств), либо выясняют истинность или ложность высказывания в зависимости от значения истинности исходных высказываний и вида выражения. Покажем на примере, как выясняется истинность или ложность составного высказывания.

Пусть имеется логическая формула вида:

$$Y=[(A\cdot B+\overline{C})\cdot D+B\cdot(\overline{A}\cdot C+\overline{B})]\cdot A\cdot\overline{C}.$$



Требуется узнать, истинно или ложно сложное высказывание при следующих исходных данных: $C=0$, $B=0$, $A=1$, $D=1$.

Подставим данные об истинности элементарных высказываний в уравнение:

$$Y=[(1\cdot 0+1)\cdot 1+(0\cdot 1+1)]\cdot 1\cdot 1=$$
$$=[(0+1)\cdot 1+(0+1)]\cdot 1=$$
$$=[1+1]\cdot 1=1\cdot 1=1.$$

Таким образом, сложное высказывание «Y» истинно.

В обыденной речи, да и в научной тоже, кроме логических связок «и», «или» и «не», используется множество других: «если... то», «тогда... и только тогда» и др. В алгебре высказываний все эти связки могут быть сведены путем эквивалентных преобразований к исходным трем. Для этого надо лишь понимать семантический смысл, заложенный в этих связках. Для некоторых наиболее распространенных грамматических связок в алгебре высказываний есть специальные символы, например: «если... то» обозначается следующим образом — «$\rightarrow$» (эта операция в алгебре высказываний носит название «импликация»).

Операция «$\rightarrow$» используется в задаче, предложенной Л. Кэрроллом, изложенной выше. Возьмем из нее одно из высказываний: «Если у котенка нет хвоста, то у него нет усов». Оно состоит из двух элементарных высказываний («У котенка есть хвост» — высказывание A, и «У котенка есть усы» — высказывание B), соединенных связкой «если...то».

Вот символическая запись этого предложения: $Y=\overline{A}\rightarrow\overline{B}$.

Преобразуем формулу таким образом, чтобы в ней использовались известные нам символы. Для этого составим таблицу истинности операции:

A	B	→
0	0	1
0	1	0
1	0	1
1	1	1.

Эту таблицу мы заполнили, исходя из смыслового содержания высказывания. Если у котенка нет усов ($A=0$) и если у котенка нет хвоста ($B=0$), то по условию задачи сложное высказывание — истина ($Y=1$). Если у котенка нет усов ($A=0$) и есть хвост ($B=1$), то $Y=0$, так как это противоречит утверждению, содержащемуся в исходном высказывании. Если у котенка есть усы ($A=1$), то у него может быть хвост ($B=1$), а может и не быть ($B=0$), в любом случае $Y=1$, так как это не противоречит смыслу высказывания, предложенного Кэрроллом. Вот если бы он сказал, что у котенка нет хвоста тогда и только тогда, когда у него нет усов, то при $A=1$ и $B=0$ $Y=0$, а при $A=1$ и $B=1$ $Y=1$, но это уже другая логическая связка, обозначаемая знаком «$\leftrightarrow$» и носящая название «эквиваленция».

Для приведения сложной связки «$\rightarrow$» к известным нам трем исходным прочтем, что же написано в таблице истинности: сложное высказывание «$Y=A\rightarrow B$» истинно при $A=0$ и $B=0$, или $A=1$ и $B=1$, или при $A=1$ и $B=0$. А теперь запишем это в символьном виде:

$$Y=\overline{A}\cdot\overline{B}+A\cdot B+A\cdot\overline{B},$$

преобразуем далее

$$Y=\overline{A}\cdot\overline{B}+A\cdot(B+\overline{B}),\text{ но } B+\overline{B}=1,$$

тогда $Y=\overline{A}\cdot\overline{B}+A$.

Мы можем прочесть полученную формулу с помощью трех грамматических связок: «У котенка нет усов и у котенка нет хвоста или у него есть усы».

Следует сказать, что полученное символьное выражение можно не-

сколько упростить и привести к виду $Y=A+\overline{B}$, однако для этого необходимо использовать известный в булевой алгебре так называемый второй дистрибутивный закон, который здесь не рассматривался.

Подобным образом любую грамматическую связку можно свести к исходным «и», «или» и «не». Правда, не всегда можно потом прочесть полученную формулу. Сомневаюсь, что это удастся, например, сделать со следующей формулой:

$$Y=\left\{[(\overline{A}+B\cdot\overline{C})\cdot D+A\cdot B]\cdot(\overline{B}+C)\right\}+\overline{A}\cdot B.$$

Да этого и не нужно делать. Для этого и предназначена алгебра высказываний, чтобы все преобразования в логических уравнениях производить в символьном виде, не придавая значения смысловому содержанию высказываний.

В заключение следует заметить, что в литературе по алгебре высказываний операции логического сложения и умножения довольно часто называют (так же как и в алгебре множеств) дизъюнкцией и конъюнкцией (иногда встречаются и другие термины) вместо принятых в этой книге обозначений «+», «·» и «—» могут использоваться отличные от них знаки. Однако мы воспользовались привычными терминами и знаками, так как они чаще используются в специальной литературе и достаточно верно отражают смысл операций, а если вам встретятся новые термины и обозначения, разобраться в них не составит труда.

Алло, вы ошиблись номером!

Вспомните, как обидно бывает, когда нужно позвонить из телефона-автомата по очень важному делу, у вас единственная «двушка», а вы попали совсем не по тому номеру. Или как раздражает, когда, отрывая от захватывающего футбольного поединка или выступления танцевальной пары на приз газеты «Московские новости», несколько раз подряд звонит незнакомый (и конечно, неприятный) мужской голос и просит позвать неизвестную вам Галину Павловну. Во всех этих случаях вам приходят в голову разные нехорошие мысли о телефонных станциях, телефонистах и обо всем, что с этим связано. Однако я думаю, что вы стали бы снисходительней, если бы посетили эту самую телефонную станцию или еще лучше — посмотрели ее техническую документацию. Там столько всяких контактов, выключателей, реле и тому подобного, что удивительно, как во всем этом можно разобраться и как все же удается дозвониться по нужному номеру. Как вообще все это можно придумать и нарисовать?

Должна быть, вероятно, какая-то теория, позволяющая спроектировать и нарисовать все это. Впервые на возможность создания «алгебры распределительных схем» указал работавший в России известный ученый П. Эренфест в своей рецензии на книгу Л. Кутюра «Алгебра логики». Рецензия вышла в 1910 году в «Журнале русского Физико-химического общества». Будущей алгебре релейных схем посвящено всего несколько строчек: «...пусть имеется проект схемы проводов автоматической телефонной станции. Нужно определить: 1) будет ли она правильно функционировать при любой комбинации, могущей встретиться в ходе деятельности станции; 2) не содержит ли она излишних усложнений... Следует ли при решении этих вопросов раз и навсегда удовлетвориться гениальным, а по большей части рутинным способом пробования на графике. Правда ли, что, несмотря на существование уже разработанной «алгебры логики», своего рода «алгебра распределительных схем» должна считаться утопией».

П. Эренфест удивительно точно и ясно сформулировал задачи алгебры релейных схем практически в современном ее понимании — синтез и анализ структур релейных устройств. Идеи Эренфеста нашли свое воплощение в середине 30-х годов почти одновременно в работах советского ученого В. И. Шестакова и американского К. Шеннона. Эти ученые предложили

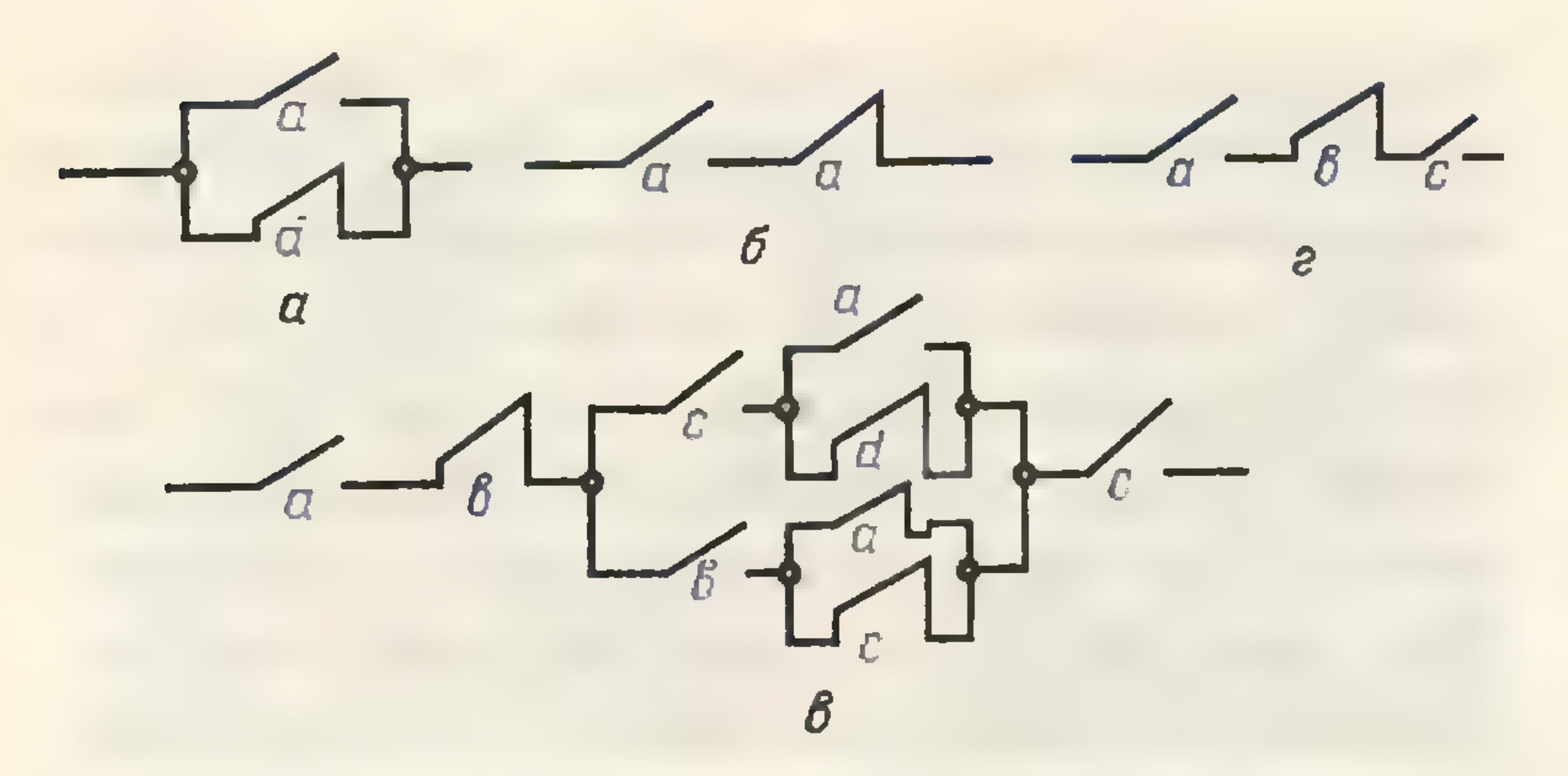


Рис. 2. Релейно-контактные цепи

использовать булеву алгебру для описания, анализа и синтеза контактных схем. Операциям и символам булевой алгебры была дана следующая интерпретация:

1 — замкнутая цепь;

0 — разомкнутая цепь;

строчные буквы латинского алфавита (а, в, с,...) — замыкающие контакты;

ā, ƀ, c̄, ... — размыкающие контакты;

«+» — параллельное соединение контактов («сложение»);

« • » — последовательное соединение контактов («умножение»).

Все правила и приемы преобразований, рассмотренные в алгебре множеств и алгебре высказываний, сохраняют свою силу и в алгебре релейных схем. Давайте проверим верность нескольких изученных ранее формул. Еще в алгебре множеств мы узнали, что $a+\bar{a}=1$. На рис. 2 а показана схема соединений контактов, выполненная по этой формуле. Вам, наверное, ясно, что одинаковыми буквами обозначаются контакты, принадлежащие одному и тому же реле (тумблеру, переключателю и т. п.) или разным реле, срабатывающим одновременно от одного управляющего сигнала. Очевидно, что эта схема равносильна постоянно замкнутой цепи: если реле не сработало, то цепь замкнута по контакту «ā», если оно сработает, этот контакт разомкнется, но замкнется контакт «а», и цепь останется замкнутой.

Убедимся теперь в справедливости формулы $a \cdot \bar{a}=0$. Цепь, выполненная по ней, показана на рис. 2 б. Легко доказать,что эта цепь постоянно разомкнута. Если реле не работает, контакт «а» разомкнут, как только оно сработает, контакт «а» замкнется, но разомкнется «ā», таким образом цепь останется разомкнутой.

Верность выражений $a \cdot a=a$, $a+a=a$, $1 \cdot a=a$, $0 \cdot a=0$, $0+a=a$ и других, известных нам ранее, вы легко проверите сами.

Какой же смысл вкладывается в понятия «сложение» и «умножение» в алгебре релейных схем. Для того чтобы лучше понять это, воспользуемся известными нам из алгебры высказываний таблицами истинности, которым в релейной алгебре соответствуют таблицы состояний.

Операция сложения означает параллельное соединение контактов, ниже показана соответствующая ей таблица состояний:

а	в	+
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1.

В алгебре высказываний «0» или «1» означают «истину» или «ложь» исходных высказываний или сложного, а в релейной алгебре «0» соответствует разомкнутому контакту или цепи и «1» — замкнутому контакту или цепи. Очевидно, для того чтобы цепь из параллельных контактов оказалась замкнутой, достаточно замыкания любого из составляющих ее контактов.

Аналогично, рассмотрев таблицу состояний для операции умножения (или последовательного соединения контактов), совпадающую с таблицей истинности операции «и» в алгебре высказываний, убеждаемся, что для замыкания цепи, состоящей из последовательно соединенных контактов, необходимо, чтобы были замкнуты все контакты.

На рис. 2 в показана контактная схема, попробуем описать ее, пользуясь символами релейной алгебры.

Слева расположен контакт «а» и последовательно с ним «в», пишем: $Y=a \cdot в$ ..., далее цепь разветвляется на два параллельных участка, следовательно, нам понадобятся скобки, так как каждый из параллельных

участков, в свою очередь, содержит параллельные цепи, ставим квадратные скобки (можно, как это принято при программировании, использовать двойные круглые скобки) и описываем верхний участок параллельной цепи, состоящий из контакта «с» и соединенных последовательно с ним двух параллельных контактов «*d*» и «*a*», получаем:

$$Y=a\cdot\bar{b}\cdot[c\cdot(\bar{d}+a)+\ldots .$$

Затем описываем нижний участок параллельной цепи, состоящий из контакта «*b*» и последовательно соединенных с ним контактов «$\bar{a}$» и «$\bar{c}$», после чего уравнение примет вид:

$$Y=a\cdot\bar{b}\cdot[c\cdot(\bar{d}+a)+b\cdot(\bar{a}+\bar{c})]\ldots .$$

Последовательно с описанным нами участком из двух параллельных цепей соединен контакт «с». В окончательном виде уравнение контактной цепи, изображенной на рис. 2 в, выглядит следующим образом:

$$Y=a\cdot\bar{b}\cdot[c\cdot(\bar{d}+a)+b\cdot(\bar{a}+\bar{c})]\cdot c .$$

Преобразуем полученную нами формулу по известным нам правилам:

$$Y=a\cdot\bar{b}\cdot[c\cdot\bar{d}+a\cdot c+b\cdot\bar{a}+b\cdot\bar{c}]\cdot c=$$

$$=a\cdot b\cdot c\cdot\bar{d}\cdot c+a\cdot\bar{b}\cdot c\cdot c+a\cdot b\cdot\bar{b}\cdot a\cdot c+a\cdot\bar{b}\cdot b\cdot c\cdot\bar{c} .$$

Два последних слагаемых полученного выражения обращаются в 0, так как содержат выражения, соответствующие закону исключения третьего А • А=0. В первых двух слагаемых встречаются одноименные буквы. С учетом этого:

$$Y=a\cdot\bar{b}\cdot c\cdot\bar{d}+a\cdot\bar{b}\cdot c=a\cdot\bar{b}\cdot c(d+1), \text{ но } \bar{d}+1=1.$$

Окончательно после всех преобразований получаем: $Y=a\cdot\bar{b}\cdot c$.

Полученная формула эквивалентна исходной, и следовательно, цепь, составленная по этой формуле (рис. 2 г), равносильна цепи, представленной на рис. 2 в. Отсюда следует, что первоначальная схема содержит лишние контакты. Контакт же «*d*», а значит, и элемент, управляющий этим контактом (например, реле), не нужен.

Что такое эквивалентные контактные цепи? Эквивалентные цепи, соответствующие эквивалентным формулам, замкнуты или разомкнуты при одинаковых состояниях составляющих их контактов, а в случае, если речь идет о релейно-контактных схемах — при одинаковых комбинациях сигналов, управляющих реле. Наличие управляющего сигнала означает, что управляемый им замыкающий контакт замкнут (1), а управляемый им размыкающий контакт разомкнут (0); его отсутствие показывает, что замыкающий контакт разомкнут (0), а размыкающий замкнут (1).

Вероятно, было бы неправильно, как писал еще Эренфест, пробовать сначала изобразить схему графически, а потом составлять ее уравнение, упрощать его путем эквивалентных преобразований и рисовать затем новую. Должен быть какой-то способ сразу получать нужную схему. И такой способ действительно есть.

На протяжении многих лет преподавания в Институте повышения квалификации руководящих работников и специалистов, перед тем как излагать алгебру релейных схем специалистам по автоматике (большинство из которых имеет высшее образование и солидный стаж работы по специальности), я предлагаю нарисовать схему автомата, управляющего электродвигателем. Он включается магнитным пускателем (МП), катушка которого срабатывает через контакты промежуточных реле (P_a, P_b, P'_c), управляемых тремя сигналами (А, В, С). Двигатель должен работать при наличии любых двух из трех сигналов или всех трех. На рис. 3 а представлена блок-схема устройства. От слушателей требуется составить схему контактной группы релейного автомата, состоящей из контактов а, b и с, управляемых реле P_a, P_b и P_s соответственно, обозначенной на рисунке символом «?». Схема должна быть оптимальной, т. е. содержать минимально возможное количество контактов. Ни разу! Я повторяю, ни разу! мне не удалось получить от слушателей этой схемы. А ведь она очень проста. Попробуйте нарисовать ее вы. Думаю, что и у вас это не получится.

Давайте разберем один из возможных способов разработки этой схемы

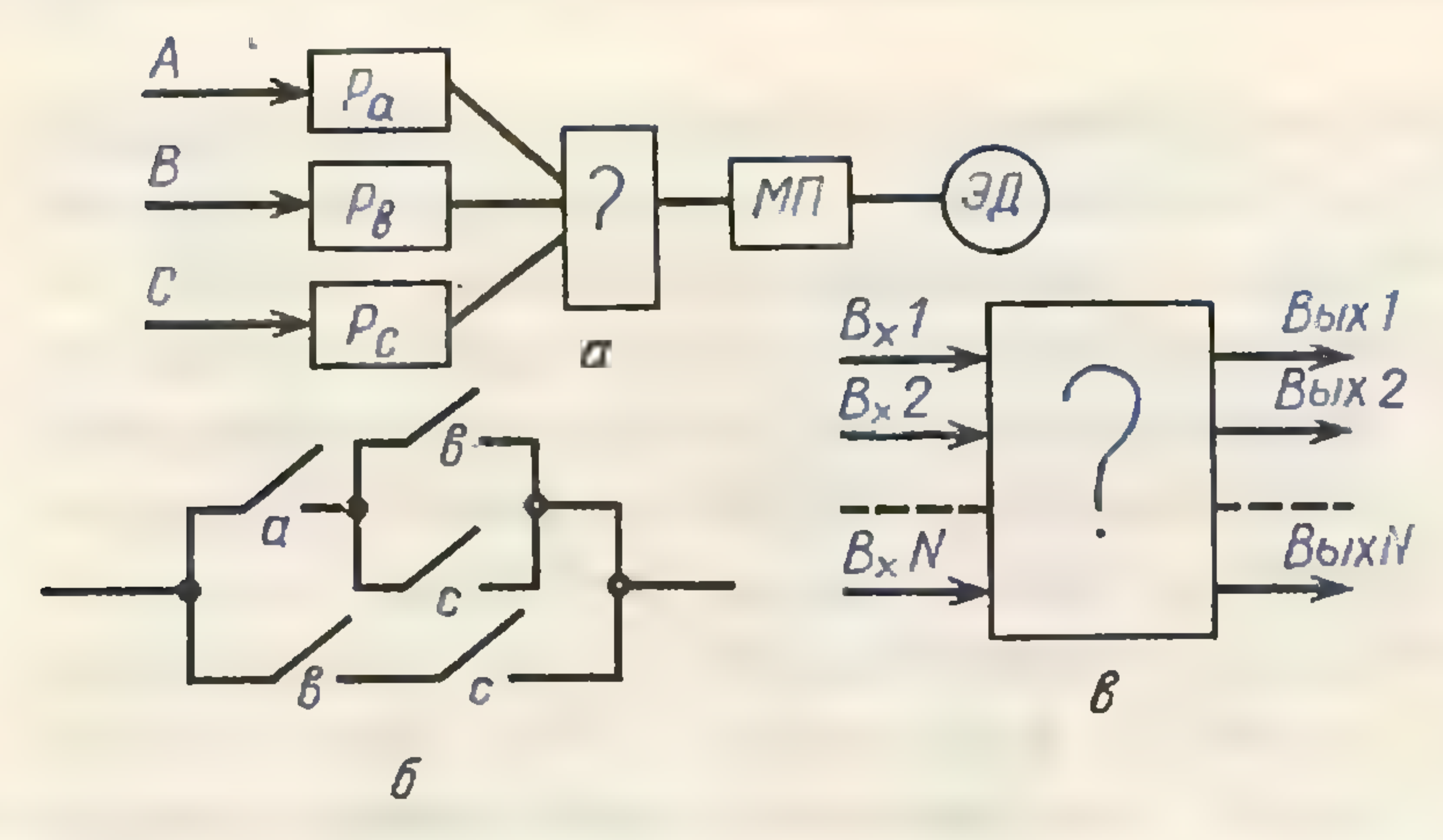


Рис. 3. Релейно-контактный автомат

с помощью алгебры релейных схем.

Сначала составим таблицу состояний, соответствующую таблице истинности в алгебре высказываний:

а	0	0	0	1	1	0	1	1
в	0	0	1	0	1	1	0	1
с	0	1	0	0	0	1	1	1
Y	0	0	0	0	1	1	1	1.

В вертикальных колонках показаны возможные комбинации состояний контактов а, в и с. Нижняя строчка обозначает состояние контактной группы (замкнута или разомкнута). Замкнутое состояние контактной группы автомата (Y) соответствует единице, разомкнутое — нулю.

По условию задачи контактная группа должна быть замкнута, а следовательно, должен сработать магнитный пускатель, включающий электродвигатель, только при последних четырех комбинациях состояний контактов, управляемых входными сигналами.

Теперь приступим к составлению уравнения. Выбираем те вертикальные столбцы, в которых $Y=1$, после чего перемножаем символы, соответствующие значениям состояний контактов в этой колонке (если «а» или любой другой контакт разомкнут, равен «0», то в произведении записываем $\bar{a}$), полученные произведения складываем. Для нашего случая получаем:

$$Y=a \cdot b \cdot \bar{c}+\bar{a} \cdot b \cdot c+a \cdot в \cdot c+ \\ +a \cdot b \cdot c.$$

Далее упрощаем полученное уравнение путем эквивалентных преобразований, применяя следующий искусственный прием: добавляем к уравнению еще два последних слагаемых — $a \cdot b \cdot c$. Из множеств мы запомнили, что $A+A+A+...=A$. Таким образом, в какой-либо булевой сумме мы можем дописать сколько угодно слагаемых из имеющихся.

Итак, $Y=a \cdot b \cdot \bar{c}+\bar{a} \cdot b \cdot s+a \cdot \bar{в} \cdot$ $\cdot c+a \cdot b \cdot c+a \cdot b \cdot c+a \cdot b \cdot c.$

Далее после группировки слагаемых и вынесения общих сомножителей выражение примет вид:

$$Y= a \cdot b(\bar{c}+c)+a \cdot c(\bar{в}+b)+ \\ +c \cdot b(\bar{a}+a).$$

Сумма слагаемых в круглых скобках, по известному нам закону исключения третьего, равняется единице. С учетом этого

$$Y=a \cdot b+a \cdot c+c \cdot b.$$

Можно немного упростить полученное уравнение (сократить количество контактов): $Y=a \cdot (b+c)+c \cdot b.$

Теперь по этой формуле нарисуем схему контактной группы автомата, представленную на рис. 3б.

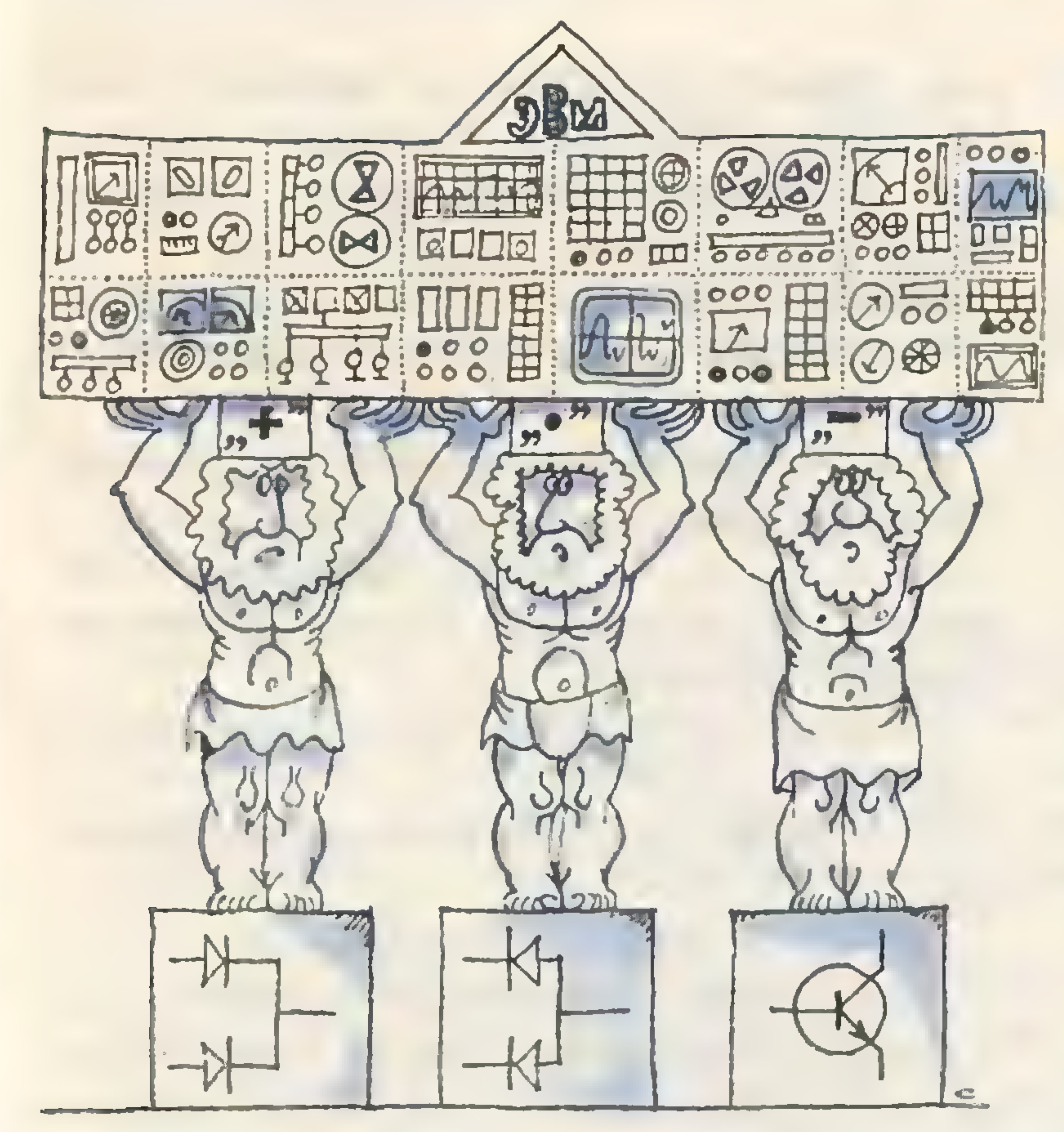
Таким же образом может быть спроектирован любой релейный автомат с неограниченным количеством входных управляющих сигналов и произвольным количеством управляемых им объектов. Для этого его надо представить в виде «черного ящика», имеющего входные и выходные сигналы, и описать логику его работы, т. е. взаимное соответствие входных и выходных сигналов (рис. 3б). Практически это означает, что надо описать работу автомата в виде высказываний и соединить эти высказывания логическими связками. Далее, если логические связки простые, а высказываний не слишком много, можно составить логическую формулу работы автомата и, упростив ее с помощью эквивалентных преобразований, получить уравнение контактной группы. Если логика автомата достаточно сложна, составляется таблица истинности, и далее получают уравнение способом, показанным выше.

Разработанная задача может быть представлена в виде комбинаций трех высказываний, связанных между собой логическими связками «и», «или» и «не».

Имеется управляющий сигнал А — высказывание А.

Имеется управляющий сигнал В — высказывание В.

Имеется управляющий сигнал С — высказывание С.



Теперь запишем логическое уравнение работы электродвигателя. В словесном выражении оно звучит так: электродвигатель должен работать ($Y=1$), если имеются управляющие сигналы A и B и нет C, или есть сигналы A и C и нет B, или есть B и C и нет A, или есть A, B и C.

Согласно правилам алгебры высказываний запишем это предложение в символах:

$$Y=A \cdot B \cdot C+A \cdot B \cdot C+A \cdot B \cdot C+ +A \cdot B \cdot C.$$

Далее преобразуем уравнение аналогично разобранному выше примеру и, заменив заглавные буквы на строчные, получаем формулу контактной группы автомата, совпадающую с полученной нами ранее.

Принятых в релейной алгебре символов и знаков достаточно, чтобы описать автомат любой сложности, поскольку нет другого способа соединения контактов, кроме последовательного и параллельного, нет других видов контактов, кроме размыкающих и замыкающих, нет других состояний цепей, кроме замкнутого и разомкнутого. Или, если вспомнить алгебру высказываний, этих символов достаточно потому, что мысль любой сложности может быть высказана при помощи трех логических связок — «и», «или» и «не».

Три великих мудреца

Если присмотреться к выражению, описывающему конкретную группу релейного автомата, то увидим, что по своей структуре она совпадает с логическими формулами алгебры высказываний. Да иначе и быть не может, ведь вся символика и правила проведения операций у релейной алгебры и алгебры высказываний одинаковы. Значит, если вдуматься в работу релейного автомата, то по сути своей она заключается в совершении логических операций над элементарными высказываниями, роль которых играют управляющие сигналы. Логика работы, связывающая эти высказывания, заключена в описании порядка работы автомата. Так, может быть, и не нужны никакие реле и контакты — пусть будут какие-то устройства, умеющие совершать логические действия, выходные сигналы которых будут зависеть от входных и результатов их обработки в этих самых устройствах. Как было показано ранее, для работы автомата любой сложности достаточно трех таких устройств, которые «умели» бы совершать три логические операции: назовем их — логический элемент «И», логический элемент «ИЛИ» и логический элемент «НЕ». Попробуем спроектировать на таких элементах автомат, полученный нами в предыдущей главе (рис. 3б), контактная группа которого описывается выражением $Y=a \cdot (b+c)+b \cdot c$.

Автомат, собранный на логических элементах, должен решить это логическое уравнение и выдать выходной сигнал в том случае, когда по таблице состояний этого автомата $Y=1$. Порядок проведения операций по этой формуле задается общими правилами проведения логических и математических вычислений с учетом принятого старшинства операций и расстановки скобок.

В приведенной формуле последнее действие, после которого появится соответствующий выходной сигнал, — логическое сложение; следовательно, на выходе устройства должен стоять элемент «ИЛИ» (рис. 4а). В этом элементе происходит сложение двух составных

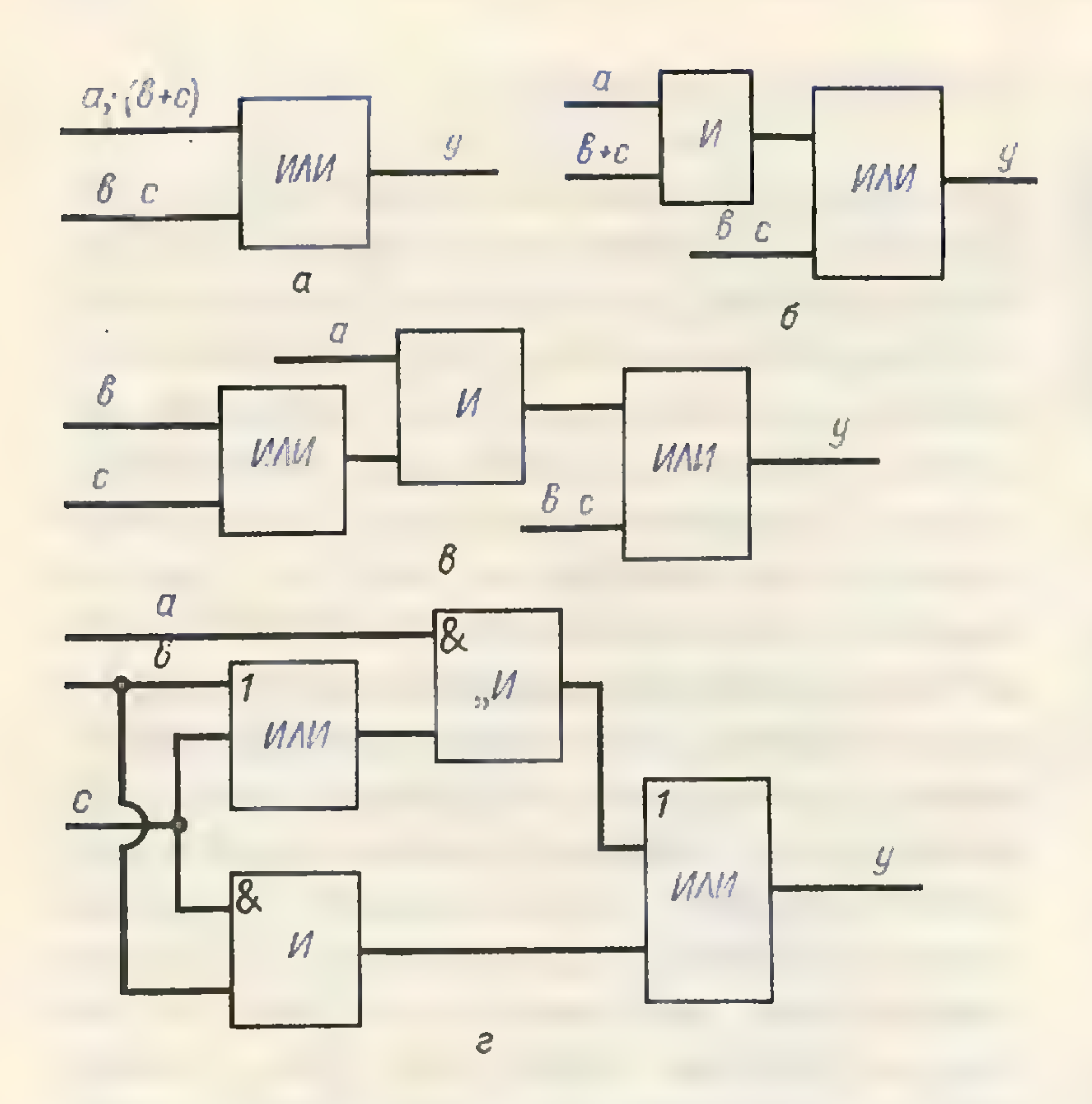


Рис. 4. Построение схемы автоматического устройства на бесконтактных логических элементах

сигналов «a • (b+c)» и «b • c», но таких сигналов у нас нет, их надо предварительно получить из исходных. Верхний по схеме на рис. 4а сигнал представляет собой произведение двух сигналов, из которых один — «a», а другой — сумма «b+c». Этот сигнал можно получить, используя устройство, осуществляющее логическое умножение — логический элемент «И». На рис. 4б показан дальнейший ход проектирования схемы логического автомата. Далее необходимо получить сумму высказываний «b+c» из исходных при помощи логического элемента «ИЛИ» (рис. 4в). Окончательная схема, полученная после использования еще одного элемента «И» для получения произведения «b • c», показана на рис. 4г.

По такой методике при некотором навыке, внимательности и терпении можно нарисовать автомат на логических элементах, описываемый формулой любой сложности. И этих трех элементов будет достаточно, как достаточно было трех логических связок в алгебре логики.

Такие элементы, конечно, созданы и носят название «бесконтактные логические элементы». Весь математический аппарат, примененный нами ранее, полностью пригоден для описания, проектирования и анализа схем на таких элементах. Только в некоторые из понятий вкладывается несколько другой смысл.

«0» — в отличие от алгебры релейных схем означает отсутствие выходного или входного сигнала;

«1» — наличие входного или выходного сигнала;

«a, в, c ...» — буквы латинского алфавита соответствуют входным или выходным сигналам;

«+» — логическое сложение сигналов;

« • » — логическое умножение сигналов;

«ā» — логическое отрицание.

Логические элементы выполнялись сначала на реле (в этом случае определение «бесконтактные» не вполне верно), потом на электронных лампах, затем на полупроводниках. Пожалуй, наиболее просто устроен бесконтактный логический элемент «ИЛИ». На рис. 5а показано его условное графическое изображение, а на рис. 5б приведена принципиальная схема этого элемента, выполненного на полупроводниковых диодах. Посмотрим, как он работает: пусть наличие сигнала (1) соответствует положительному напряжению, а его отсутствие (0) — отрицательному или нулевому напряжению. На схеме видно, что при подаче положительного напряжения (логическая 1) на любой из входов, на выходе также появляется положительное напряжение (логическая 1), так как диоды включены в проводящем направлении. «0» на выходе элемента будет только тогда, когда на всех входах отсутствует положительный сигнал. Логический элемент «ИЛИ» характеризуется таблицей состояний, совпадающей с таблицей истинности логического сложения в алгебре высказываний:

a	b	+
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1.

Из таблицы хорошо видна логика работы этого элемента: при всех входных сигналах, равных «0», на выходе — «0»; «1» появляется на выходе при по-

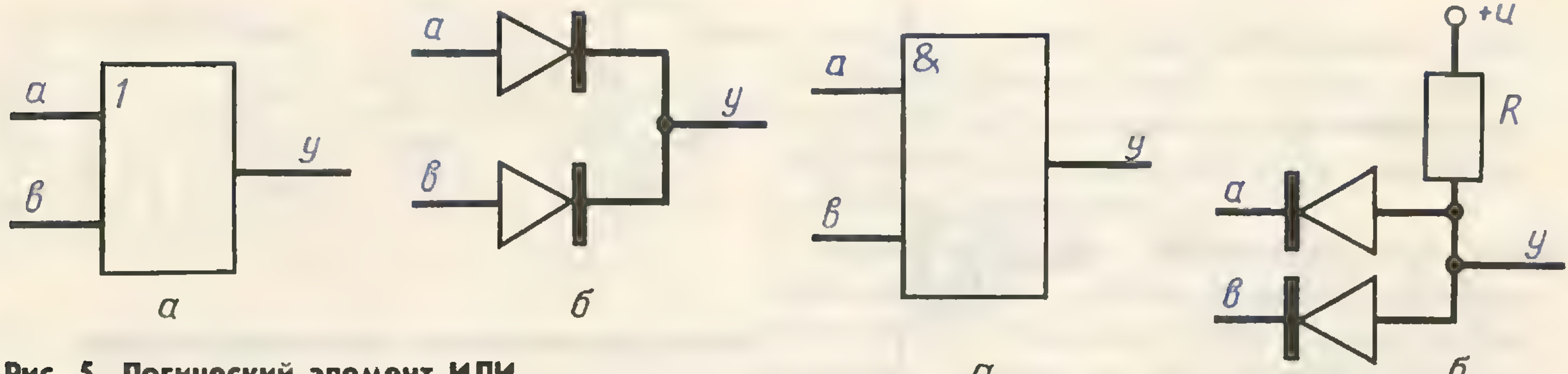


Рис. 5. Логический элемент ИЛИ

Рис. 6. Логический элемент И

даче «1» на любой из входов. Число входов на этом элементе не обязательно должно быть равным 2 — их может быть больше, в любом случае на выходе будет «1», если есть «1» хотя бы на одном из входов.

Теперь рассмотрим работу и устройство логического элемента «И». Условное графическое изображение его дается на рис. 6а, а на рис. 6б показано, как он устроен. Диоды в отличие от предыдущего элемента включены здесь в обратном направлении. Если на входах элемента «0», то ток от положительного полюса источника питания проходит через диоды, все напряжение падает на сопротивлении R, так как сопротивление диодов в прямом направлении близко к нулю. На выходе элемента «0». При подаче положительного потенциала (1) на один из входов этот диод запирается, ток через него не проходит, но остается открытым второй диод, и на выходе все равно будет «0». Только когда положительные потенциалы поданы на оба диода, ток через них прекращается, и на выходе появляется положительный потенциал — логическая 1. Таким образом реализуется таблица состояний и логического элемента «И», которая известна нам как таблица истинности логической операции «И» в алгебре высказываний.

a	b	·
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1.

Логический элемент «НЕ», условное графическое изображение которого показано на рис. 7а, представляет собой усилитель на полупроводниковом триоде, работающий в ключевом режиме; напряжение на выходе которого соответствует «1» при «0» на входе, и — «0», если на входе «1». Логическая функция этого элемента наглядно видна из таблицы его состояний:

a	—
0	1
1	0

Логические элементы выполняются в настоящее время в виде готовых устройств, и пользоваться ими можно так же, как и другими компонентами схемотехники: конденсаторами, сопротивлениями, катушками индуктивности, диодами, триодами и т. д. Привычные нам радиодетали характеризуются какими-то электрическими параметрами — величина емкости и сопротивления, вольт-амперными характеристиками и т. д. Логические элементы обладают способностью производить логические действия, которым соответствуют определенные таблицы состояний, показывающие взаимное соответствие входных и выходных сигналов. Поэтому, для того чтобы создать или разобраться в схеме современного автомата, выполненного на логических элементах, необходимо (и, вообще говоря, достаточно) знать условное графическое изображение трех логических элементов и таблицы состояний, соответствующие им, при этом даже не обязательно знать, как они устроены.

На рис. 4 показана схема автомата, где цветные знаки проставлены с соблюдением принятых обозначений.

Любая схема, выполненная на контактах, может быть переведена на логические элементы, и наоборот, схема на логических элементах преобразована в контактную, потому что они опи-

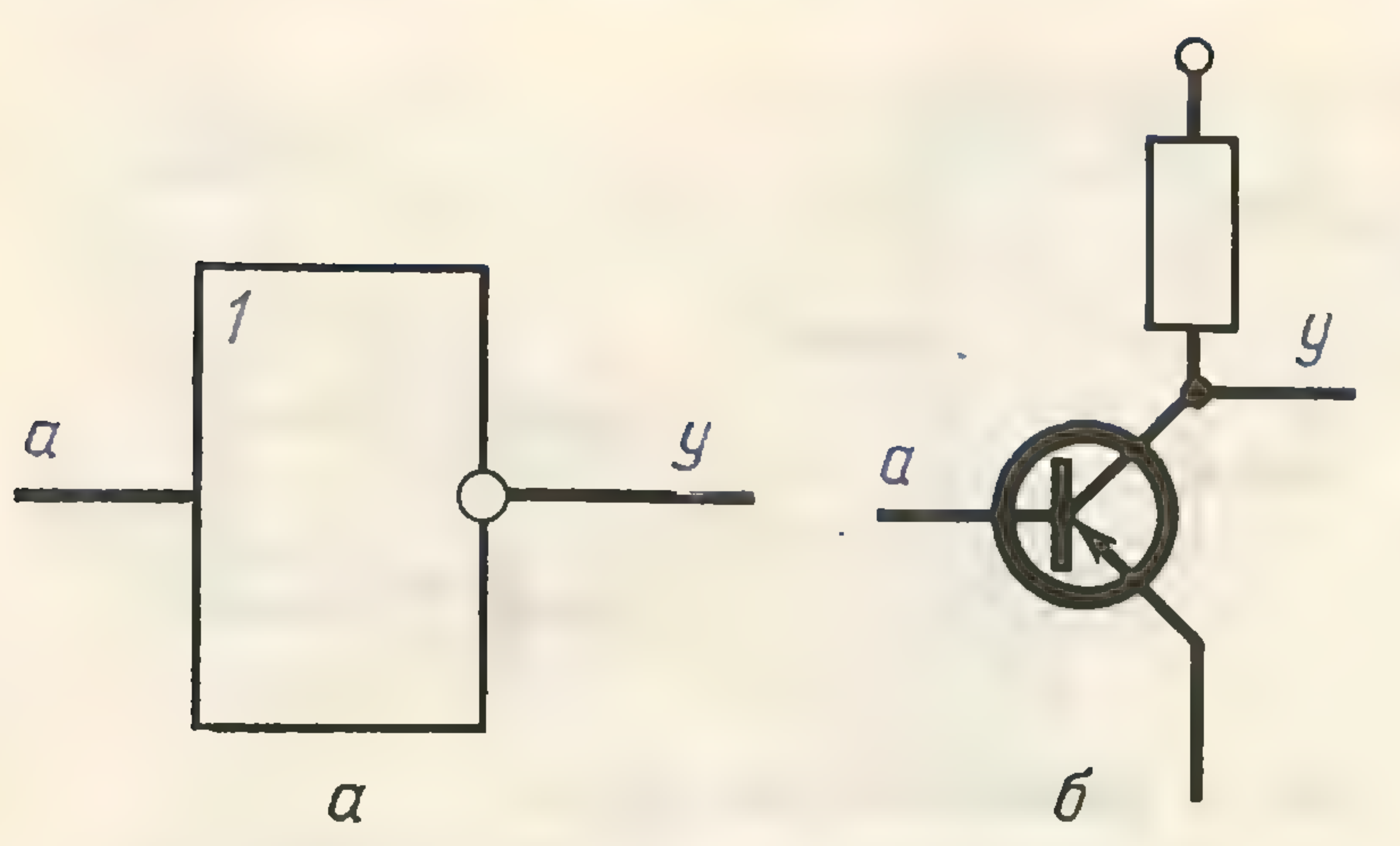


Рис. 7. Логический элемент НЕ

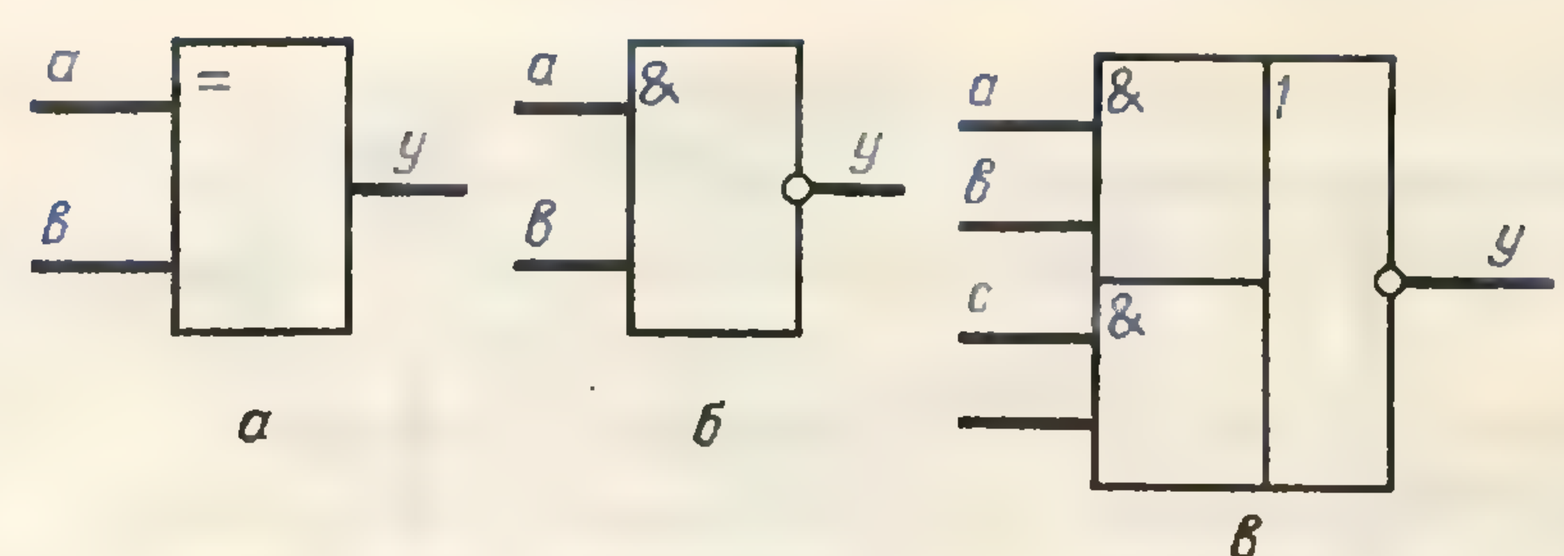


Рис. 8. Бесконтактные логические элементы

сываются одинаковыми логическими уравнениями и таблицами состояний. Как было показано ранее, этими уравнениями можно описать автомат любой сложности, и следовательно, для его создания понадобятся только три логических элемента — «И», «ИЛИ» и «НЕ».

Эти элементы и есть те три великих мудреца, которые сделали возможными все чудеса современной автоматики и вычислительной техники. Перечислять эти достижения — значит отнимать у читателя его драгоценное время. Ежедневно едва ли ни все газеты, многие популярные (а тем более специализированные) журналы, телевизионные программы заполнены самыми разительными примерами. Заводы-автоматы, выпускающие дизельные двигатели для легковых автомобилей, и роботы-официанты, луноход и автоматические морские и нефтедобывающие платформы, фотоаппараты, которые перед съемкой нормальным человеческим голосом советуют, какую поставить выдержку и диафрагму, сварочные роботы и электронные часы у вас на руке (продолжать можно еще очень долго) — все это стало повседневной реальностью только благодаря этим трем великим мудрецам.

Они стали проникать всюду и вскоре, безусловно, займут главенствующее положение в таких областях, как связь, телевидение, звукозапись, библиотечное и музейное дело, и многих других. Конечно (и это самое главное), без них невозможны были бы потрясающие успехи в создании и применении ЭВМ.

Уже много веков и даже тысячелетий люди создавали и совершенствовали орудия труда, облегчающие физический труд. С появлением логических элементов стало возможным возложить на машины часть умственной деятельности человека. Речь идет не только о вычислительных операциях, которые если и можно отнести к области умственной деятельности человека, то к наиболее рутинной ее части.

До сих пор мы все время говорили о трех логических элементах, однако если открыть «Справочник по интегральным микросхемам», где приводятся сведения о выпускаемых нашей промышленностью элементах, то увидим в нем многочисленные их разновидности. На рис. 8 показаны условные графические изображения некоторых из них. Представленный на рис. 9 а элемент носит название «исключающее ИЛИ». Логика его работы описывается следующей таблицей состояний:

а	в	Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0.

Как видно из таблицы, сигнал «1» на выходе этой схемы появляется при наличии «1» на любом из его входов, но в отличие от элемента «ИЛИ» Y = 0 при «1» на обоих входах. Эта таблица состояний по известной нам методике может быть преобразована в логическое уравнение следующего вида: $Y = \bar{a} \cdot b + a \cdot \bar{b}$.

Такому уравнению соответствует схема на рис. 9, а, выполненная из трех известных нам логических элементов.

Логический элемент, изображен-

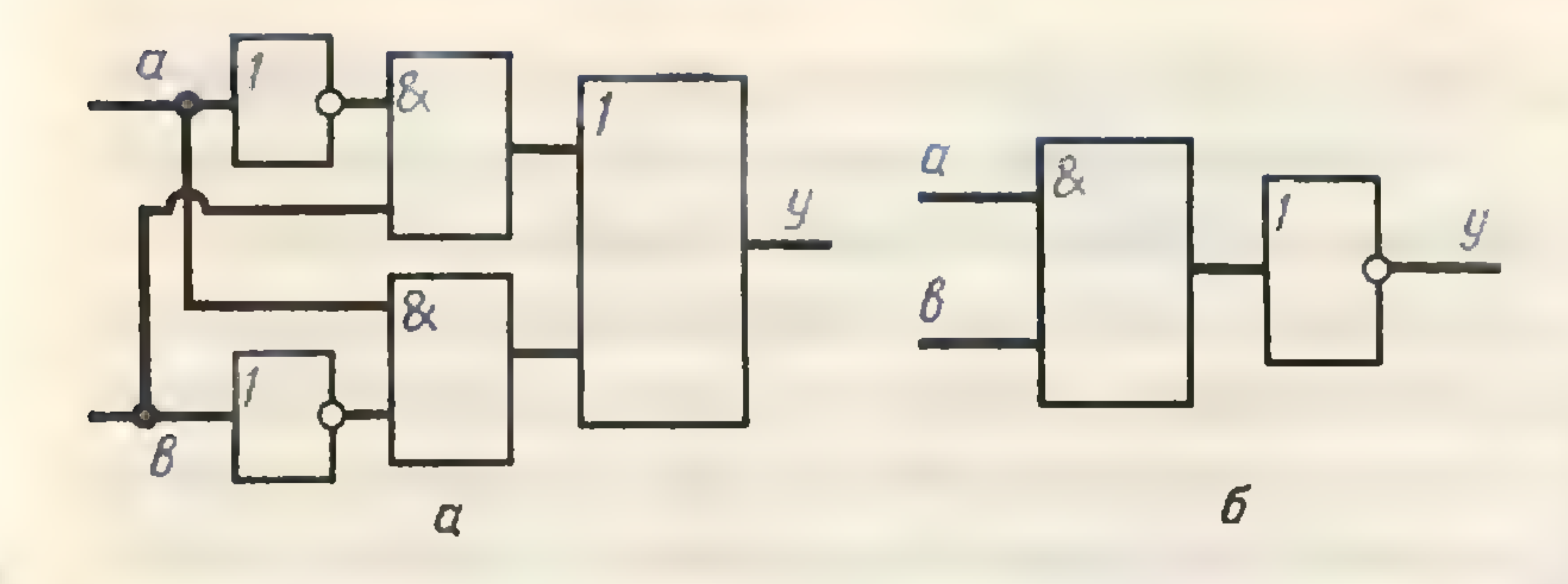


Рис. 9. Схемы бесконтактных логических элементов

ный на рис. 8, б, называется «И-НЕ». Таблицу его состояния вы без труда составите сами, исходя из семантического смысла названия или пользуясь выражением, определяющим логику его работы: $Y = \overline{a \cdot b}$.

На рис. 10 б показана схема этого элемента.

Логический элемент «И-ИЛИ-НЕ», изображенный на рис. 9 в, описывается уравнением $Y = \overline{a \cdot b + c \cdot d}$. Таблицу состояний и схему того элемента составите сами.

Таким образом, любой бесконтактный логический элемент может быть представлен в виде комбинации трех исходных элементов — «И», «ИЛИ» и «НЕ».

Для некоторых логических элементов в справочниках приводятся развернутые схемы, подобные изображенным на рис. 10.

Алгебра релейных схем и бесконтактных логических элементов, представленная в двух последних главах, в своем полном объеме гораздо обширнее и интереснее; наша задача показать ее значение и необходимость изучения, а также подготовить читателя к знакомству со специальной литературой. Однако тех знаний, которые при внимательном чтении этой книги можно из нее вынести, достаточно, чтобы самостоятельно разбираться в схемах и даже разрабатывать несложные автоматические устройства.

Как «думает» компьютер

Бесконтактные логические элементы составляют основу всех современных автоматических устройств и вычислительной техники. Да, собственно, вычислительную технику можно смело отнести к автоматическим устройствам, только автоматизируют они умственный труд человека.

Универсальные ЭВМ предназначались для выполнения арифметических расчетных операций. Это привело не просто к увеличению скорости счета. Если для решения какой-то даже принципиально не слишком сложной задачи требуются многие годы и даже десятилетия ручного труда многих расчетчиков, можно считать, что такая задача не имеет решения, так как это или нерентабельно, или через такой срок ответ уже никому не нужен. Применение вычислительных машин с быстродействием в несколько миллионов операций в секунду сделало возможным и целесообразным решение таких задач. Это один из интересных примеров, демонстрирующих диалектический закон перехода количества в качество. По мере совершенствования ЭВМ расчетные функции отходят на второй план, круг его обязанностей и возможностей расширяется.

Мой коллега по кафедре, несмотря на респектабельный и строгий вид, человек очень экспансивный, может, потому, что он брюнет и с усами, а возможно, на то причины гораздо более серьезные; во всяком случае по нему очень легко определить малейшие оттенки его душевного состояния. Однажды утром, придя на работу, я сразу заметил, что ему не терпится чем-то со мной поделиться, и это «что-то» произошло вчера вечером. Спрашивать я ничего не стал, так как знаю — не более чем через пять минут, а вернее всего раньше — сам все расскажет. Так и случилось.

Оказывается, он накануне вечером играл с шахматным автоматом и потерпел поражение три раза кряду. Сам он в студенческие годы имел по шахматам второй разряд (ради справедливости следует заметить — это было давно); в вычислительной технике он не новичок: изучал математическую логику, программирует и работает на ЭВМ, пишет учебные пособия по ин-



тегральной схемотехнике; знал, конечно, что ЭВМ могут играть в шахматы, и играл с ними раньше.

Но ведь вчера его обыграла игрушка, свободно умещающаяся в кармане, с питанием от батарейки! И это не то чтобы обидело, обескуражило или удивило его...

На редкость живо и наглядно игрушка напомнила о, в сущности, давно ему известном поразительном диалектическом единстве логики Аристотеля, математической логики и алгебры релейных схем.

Вскоре шахматный автомат оказался у нас на работе, мы не утерпели и вскрыли его. Увидели там, конечно, как и ожидали, всего лишь несколько микросхем. Это внешне элементарное устройство играющего автомата ярко продемонстрировало простые, но бесконечно глубокие истины: мысль практически любой сложности может быть выражена при помощи всего лишь трех логических связок («И», «ИЛИ» и «НЕ»), поддается обработке и вычислению с помощью трех логических действий («И», «ИЛИ» и «НЕ») и технически реализуется посредством трех логических элементов (опять-таки «И», «ИЛИ» и «НЕ»).

Вновь возникает вопрос: а может ли вычислительная машина думать? По этому поводу часто печатают статьи серьезные, не очень серьезные и совсем несерьезные журналы, пишут книги крупные и не очень крупные ученые. Наш рассказ о другом. Оставим в стороне эту совсем непростую проблему. Ведь сегодня даже не ясно — ученые какой специальности имеют решающее слово; право вынести окончательное суждение пытаются оставить за собой биологи и математики, психологи и специалисты по кибернетике, биохимики и философы, социологи и электронщики. До сих пор никто точно не может сформулировать: а что же такое думать?

Поэтому упростим задачу, уйдем от высоких научных споров и обратимся к «Толковому словарю живого великорусского языка» В. Даля. Читаем: «ДУМАТЬ — мыслить... заключать про себя... судить... доходить своим умом...» Это мало что проясняет, открываем другой том: «МЫСЛИТЬ — думать... соображать... полагать...». Видно, В. Даль не предполагал использование своего труда для решения споров об умственных способностях ЭВМ.

Возьмем более современный «Толковый словарь русского языка» под редакцией профессора Д. И. Ушакова. Здесь формулировки уже ближе к предмету разговора: «ДУМАТЬ — ... производить какие-нибудь умозаключения...» И далее: «МЫСЛИТЬ — ... сопоставлять мысли, данные опыта и делать из них выводы...»

Итак, если перевести спор в область семантики и считать, что мыслить — это воспринимать информацию и делать на ее основании логические заключения и выводы (а именно так можно истолковать слова Д. И. Ушакова), то вполне можно считать — вычислительная машина умеет думать, так как все перечисленное она умеет делать.

Попросим редактора выделить слово ДУМАТЬ набором, а если все-таки кого-нибудь обижает наше решение и он считает — думать может только человек, тогда пусть в дальнейшем, если это слово относится к ЭВМ, он мысленно берет его в кавычки.

Но ведь не расстраивается же большинство из нас из-за того, что среди далеких предков человека (кстати, по понятиям ученых — геологов, а тем

более астрономов — не таких уж далеких) мы встречаем обезьяну.

Что касается меня, то, по моему мнению, в настоящее время вычислительные машины в гораздо большей степени умеют ДУМАТЬ, чем, например, самолеты — летать. Ведь, действительно, несмотря на то что самолеты летают значительно быстрее и выше любых птиц, поднимают десятки тонн груза, большинство из нас, не задумываясь, суетливое порхание неказистого воробья признает несравненно более совершенным, чем полет самого современного красавца — ТУ или ИЛа.

Как же все-таки ЭВМ ДУМАЕТ? Как устроен ее электронный мозг? «Электронный мозг» — уже достаточно установившееся понятие, по крайней мере в популярной литературе, и здесь даже самый строгий читатель не должен насторожиться.

Ограниченный объем книги не позволяет подробнее остановиться на устройстве современных сложных ЭВМ, их архитектуре, схемотехнике, элементной базе. Интересующиеся все это найдут в довольно обширной специальной литературе. Здесь мы разберем только самые общие вопросы, связанные с функционированием машин.

На рис. 10 приведена функциональная блочная схема простейшей ЭВМ, однако на ней присутствуют все основные узлы, имеющиеся в самой большой и современной вычислительной машине.

Центральной частью машины, во многом определяющей ее функциональные возможности и быстродействие, служит АЛУ — арифметическое логическое устройство. В этом блоке, собственно, и происходят все основные арифметические и логические преобразования информации, поступающей в ЭВМ.

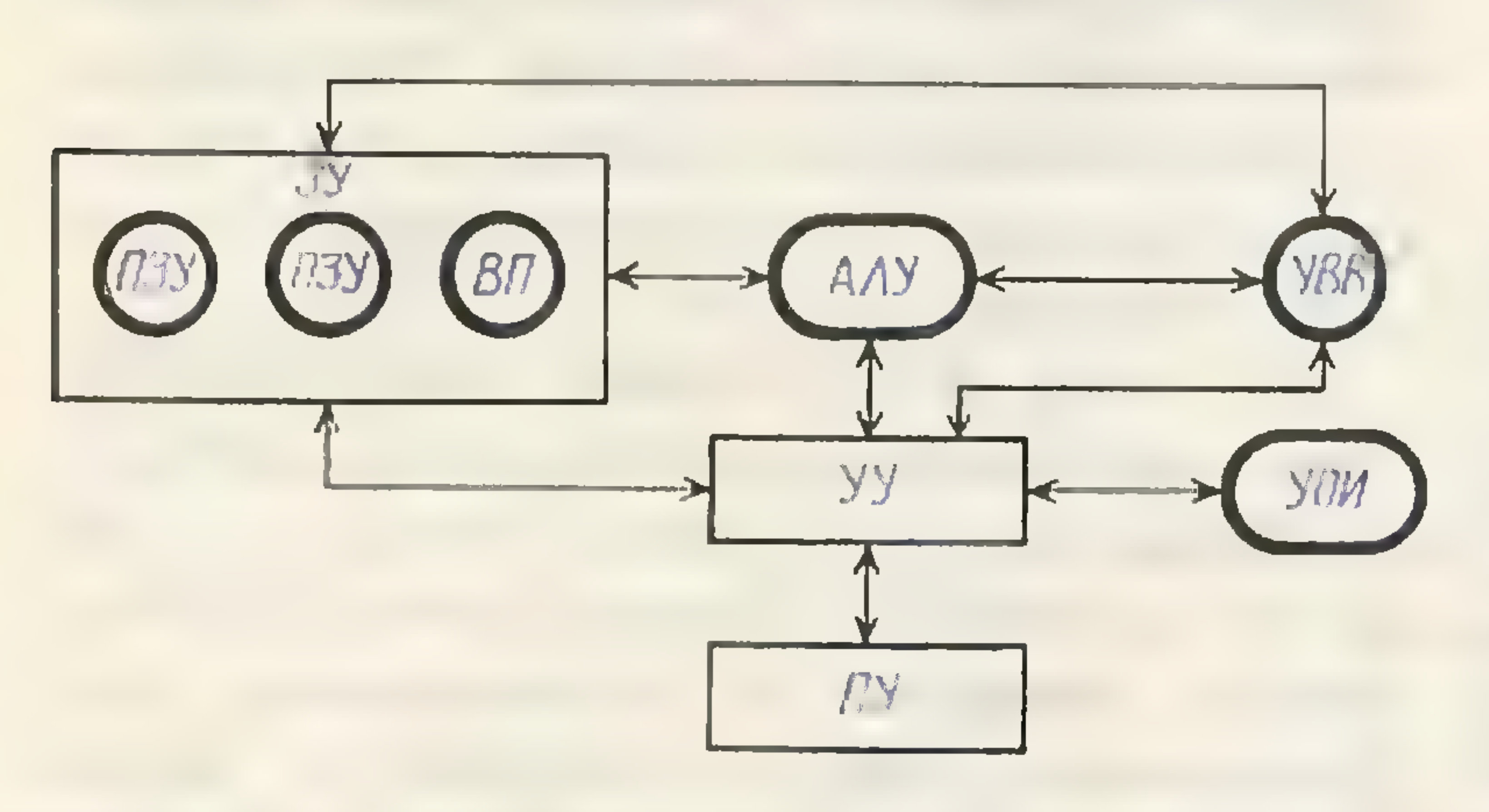


Рис. 10. Обобщенная блочная схема вычислительной машины

В запоминающем устройстве (ЗУ) хранится вся информация, необходимая для работы машины, она может быть цифровой, символьной, текстовой. Это числа, над которыми надо производить арифметические действия или которые получены в результате вычислений в АЛУ; символы, подлежащие логическим преобразованиям; программы, по которым обрабатывается информация; трансляторы и алгоритмические языки программирования, необходимые для общения человека с машиной, и др.

ЗУ, в свою очередь, состоит из постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), в котором хранится информация, не изменяющаяся в процессе работы машины (она не пропадает при выключении питания); оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), предназначенного для временного хранения результатов промежуточных вычислений и программ разового пользования, и внешней памяти (ВП), обладающей огромной емкостью, но получение информации от ВП требует значительно большего времени, чем при обращении к ПЗУ или ОЗУ. В процессе работы машины происходит постоянный обмен информацией между ВП и ОЗУ. Внешняя память выполняется обычно в виде накопителей на магнитной ленте (НМЛ) или диске (НМД).

Устройство ввода и вывода данных (УВВ) предназначено для ввода информации в ЭВМ и вывода результатов вычислений. Вводимая и выводимая информация может быть в цифровом, символьном, текстовом или аналоговом виде. Каналов поступления и выдачи данных обычно бывает несколько, для упорядочения их работы применяются коммутаторы (К).

Визуализация текущей информации и результатов вычислений происходит в устройстве отображения информации (УОИ). УОИ облегчает общение оператора с машиной, делает возмож-

ной работу в режиме диалога, т. е. обмен данными между человеком и ЭВМ, взаимную постановку и ответы на вопросы. Чаще всего УОИ выполнено в виде дисплея.

Устройство управления (УУ) согласует во времени работу функциональных блоков, а пульт управления (ПУ) необходим для связи оператора со всеми техническими средствами ЭВМ.

В вычислительных машинах возможны и другие устройства: графопостроители, печатающие устройства, синтезаторы речи, перцептроны (для распознавания зрительных образов) и т. д. Некоторых блоков может быть несколько: например, АЛУ, УОИ; и наоборот — часть блоков совмещена (АЛУ и ПЗУ, АЛУ и ОЗУ). Параллельная работа нескольких АЛУ повышает быстродействие машины, а несколько УОИ делает возможным работу с ЭВМ одновременно нескольких пользователей.

Каждый функциональный блок вычислительной машины, в свою очередь, состоит из нескольких субблоков.

Каждый субблок, в свою очередь, состоит из более элементарных узлов, также поддающихся расчленению. Но ведь есть предел деления, должны быть какие-то изначальные структурные элементы, которые обеспечивают работу самых малых ячеек и вычислительной машины в целом, если продолжать деление дальше — останется россыпь радиодеталей: сопротивления, конденсаторы, диоды, *p-n*-переходы и структуры на их основе.

Как уже было сказано ранее, основным устройством ЭВМ является АЛУ, в нем происходят арифметические и логические действия, предусмотренные программой решения задачи. Все вычисления в машине выполняются в двоичной системе.

В настоящее время наибольшее распространение получила десятичная система счисления, имеющая основание 10. Это значит, что для представления любого числа нужно 10 цифр, при этом все числа более 9 выражаются при помощи использования степеней числа 10. Любое десятичное число в виде суммы десятичных цифр, помноженных на степени числа 10, а если число меньше 1 — то степени будут отрицательными. Например: число 7934 можно записать следующим образом:

$$7000(7\times10^3)+900(9\times10^2)+$$
$$+30(3\times10^1)+(4\times10^0).$$

В повседневной жизни мы привыкли к десятичной системе, не замечаем ее особенностей и не испытываем нужды в подобном представлении чисел.

В ЭВМ удобнее пользоваться системой, имеющей основание 2, т. е. двоичной системой, она для представления любых чисел использует всего две цифры — 0 и 1. Это объясняется легкостью реализации двух цифр при помощи электрических сигналов: например, низкий уровень напряжения может означать цифру 0, а высокий — 1.

При вводе в вычислительную машину десятичных чисел они преобразуются в двоичные, и все дальнейшие арифметические действия производятся в двоичной системе.

В процессе развития ЭВМ математиками и инженерами разработаны методы выполнения математических действий, при которых все они, в том числе умножение, деление, вычитание, возведение в степень, извлечение корня и т. д., сводятся к сложению. Таким образом, из многих элементов, составляющих АЛУ современных вычислительных машин, одними из самых многочисленных являются сумматоры, осуществляющие сложение чисел в двоичной системе. Существует множество разновидностей сумматоров, различающихся разрядностью, быстродействием, способами управления, функциональными возможностями (например, памятью) и т. п.

Для того чтобы понять принцип действия одноразрядного полусумматора, необходимо вспомнить правила сложения двоичных чисел. Если в каком-нибудь разряде при сложении двух десятичных цифр образуется число большее, чем 9, то цифра младшего разряда суммы остается в этом раз-

ряде, а единица старшего разряда переносится в следующий разряд.

Сложим теперь два числа в двоичной системе:

перенос единиц в старшие разряды

$$\begin{array}{r} 11 \\ \rightarrow 110 \\ + \quad 11 \\ \hline 1001. \end{array}$$

При сложении чисел в двоичной системе единица для переноса в старший разряд образуется, если сумма цифр какого-либо разряда больше 1, тогда в этом разряде записывается 0, а единица записывается в следующий.

Теперь можно разобраться, как работает и устроен одноразрядный полусумматор. На рис. 11,а показано условное графическое обозначение полусумматора. Выходными сигналами для этой логической схемы являются X и Y, соответствующие двоичным кодам первого и второго слагаемых: выходные сигналы S и P являются кодами цифр младшего и старшего разрядов суммы.

Согласно правилам сложения можно записать возможные варианты сумм двух одноразрядных двоичных чисел:

$$0+0=00$$
$$1+0=01$$
$$0+1=01$$
$$1+1=10.$$

В правой колонке эти примеры представлены в виде таблицы истинности единичного полусумматора, устанавливающей соответствие между его входными и выходными сигналами.

X	Y	P	S
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
1	1	1	0

По рассмотренным в предыдущей главе правилам, пользуясь таблицей истинности, составим логические уравнения, характеризующие работу полусумматора:

$$S=X\overline{Y}+\overline{X}Y$$
$$P=XY.$$

Полученные уравнения позволяют нам по методике, изложенной ранее, составить структурную схему, показанную на рис. 11,б. Как видно из рисунка, она реализуется при помощи шести логических элементов: трех элементов «И», двух «НЕ» и одного «ИЛИ».

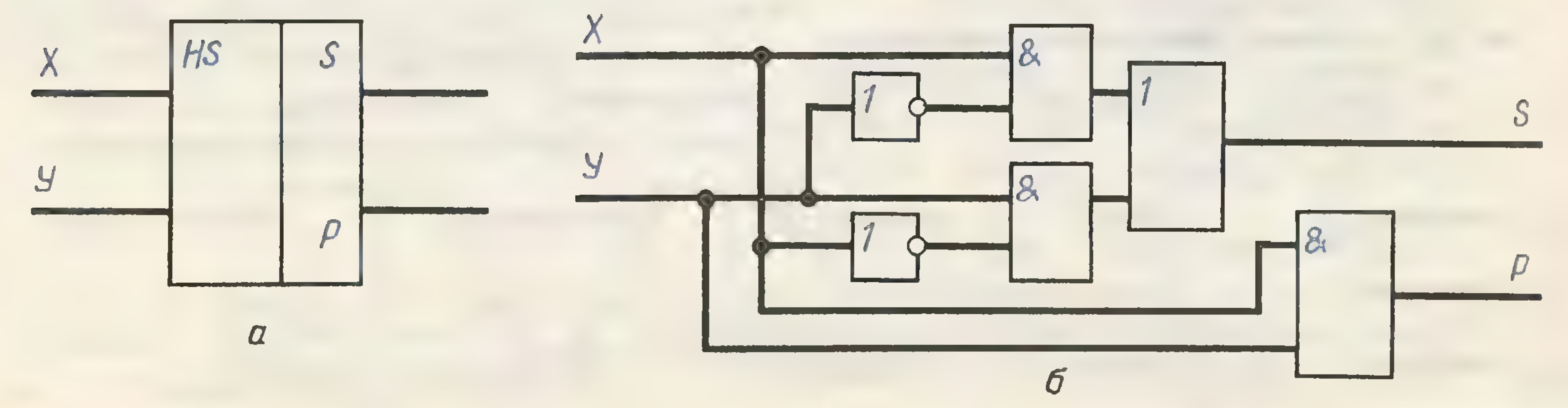
Между прочим, полученная нами схема не является оптимальной с точки зрения количества составляющих ее исходных логических элементов, она может быть упрощена. Для этого сначала преобразуем уравнение

$$S=X\overline{Y}+\overline{X}Y.$$

Применим следующий искусственный прием: согласно правилам алгебры множеств к правой части уравнения мы имеем право добавить два слагаемых — $X\cdot\overline{X}$ и $Y\cdot\overline{Y}$ (ведь такие произведения равны 0, а к любому уравнению можно прибавлять сколько угодно нулей — это ничего не меняет).

Итак, $S=\overline{X}\cdot Y+X\cdot\overline{Y}+\overline{X}\cdot X+\overline{Y}\cdot Y.$

Рис. 11. Единичный полусумматор. Условное графическое изображение а. Структурная схема единичного полусумматора б



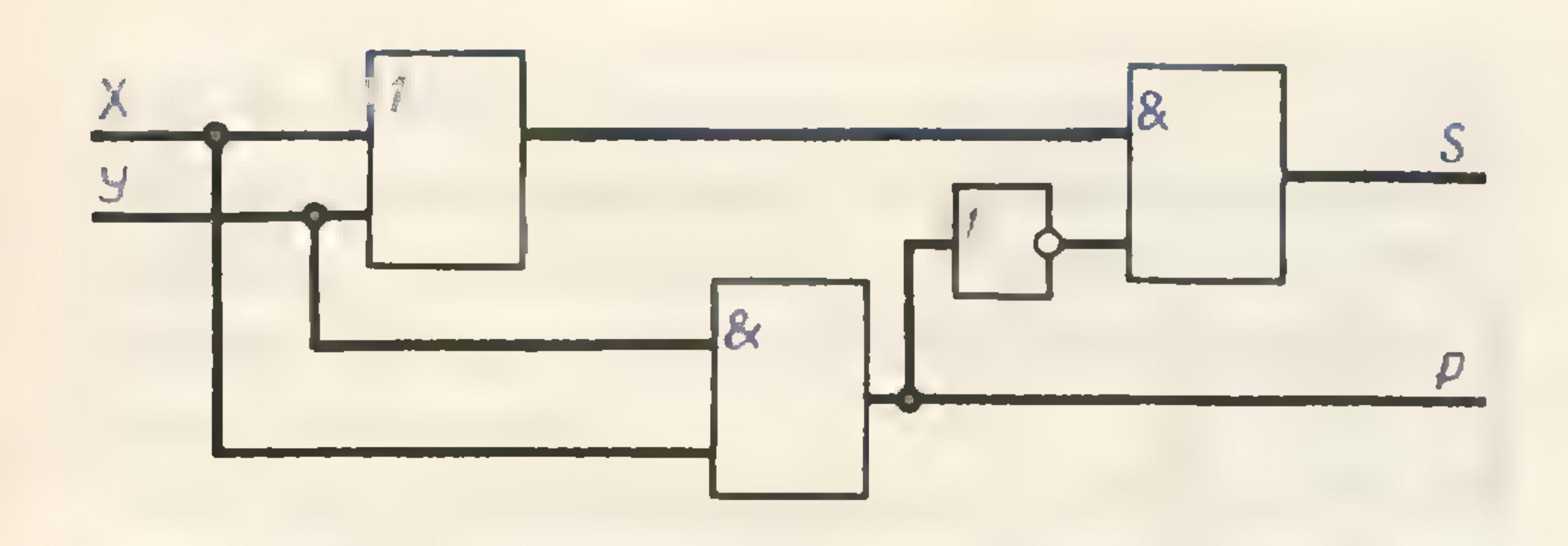


Рис. 12. Упрощенная схема единичного полусумматора

Сгруппируем слагаемые и вынесем общие сомножители:

$$S=\overline{X}\cdot(Y+X)+\overline{Y}\cdot(Y+X)=(\overline{Y}+\overline{X})\cdot(X+Y).$$

Согласно теореме де Моргана $\overline{X}+\overline{Y}=\overline{X\cdot Y}$, но $XY=P$, а следовательно:

$$\overline{X\cdot Y}=\overline{P}, \text{ тогда } S=(X+Y)\cdot\overline{P}.$$

Теперь схему единичного полусумматора можно представить следующим образом (рис. 12).

Упрощенная нами схема состоит всего из четырех логических элементов (но все тех же «И», «ИЛИ» и «НЕ»), при огромном количестве таких полусумматоров в ЭВМ экономия двух элементов на каждом может дать существенный выигрыш.

Рассмотренный элемент называется полусумматором потому, что в нем отсутствует вход для приема единицы переноса с предыдущего разряда. Сумматор, имеющий три входа, называется полным, на рис. 13,а показано его условное графическое изображение. В таком элементе имеются три входа: X, Y и P_{+1} — код переноса из предыдущего разряда, и два выхода таких же, как в полусумматоре.

Читатель, освоивший правила сложения двоичных чисел, без труда поймет, как получена таблица истинности для этой схемы.

X	Y	P_{+1}	S	P
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

Предоставим возможность тем, кто понял азы релейной алгебры, изложенные в предыдущих главах, самостоятельно проделать математические выкладки и вывести на основании этой таблицы уравнения работы полного сумматора, мы же сразу напишем результат:

$$S=S_{1/2}\cdot\overline{P}_{+1}+\overline{S}_{1/2}\cdot P_{+1}$$
$$P=P_{1/2}+S_{1/2}\cdot P_{1/2}$$

где $S_{1/2}=X\cdot\overline{Y}+\overline{X}\cdot Y$, а $P_{1/2}=X\cdot Y$.

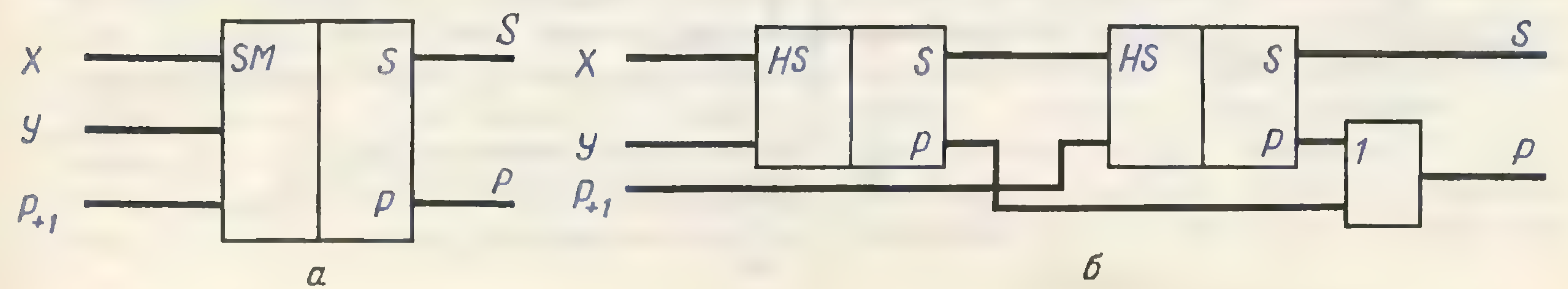
Те, кто не смог самостоятельно вывести эти уравнения, не должны огорчаться, еще раз перечитав предыдущие главы и немного поупражнявшись, они наверняка это сделают.

Из полученных формул хорошо видна возможность построения полного сумматора из двух полусумматоров (рис. 13,б).

Не надо обладать большой проницательностью, чтобы догадаться — этот и другие более сложные многоразрядные сумматоры состоят из все тех же трех исходных логических элементов.

Таким же по значимости и количеству использования в ЭВМ структурным элементом является регистр. Регистр — это узел вычислительной машины, представляющий собой совокупность электронных запоминающих устройств и располагающий си-

Рис. 13. Условное графическое изображение полного сумматора а. Одноразрядный сумматор, построенный из двух полусумматоров б.



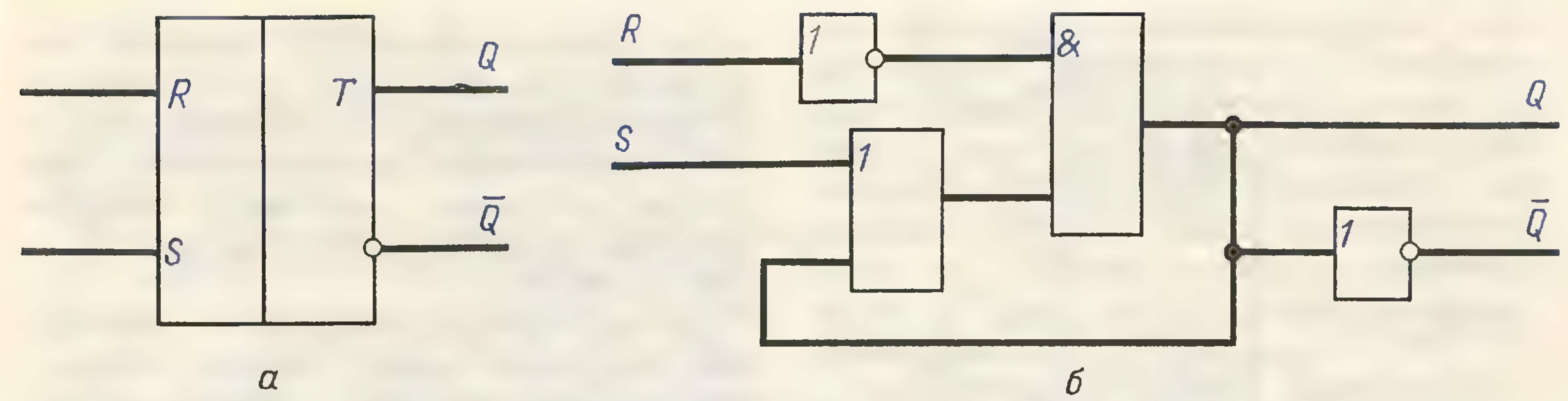


Рис. 14. Условное графическое изображение PS-триггера а. Схема PS-триггера б.

стемой управления входными и выходными сигналами. Он предназначен для приема, хранения и выдачи информации. В некоторых разновидностях регистров может производиться простейшая обработка информации (сдвиг, суммирование поступающих сигналов с хранящимися и т. п.). Регистры применяются практически во всех функциональных блоках ЭВМ (АЛУ, УВВ, ОЗУ, ПЗУ и др.).

Важнейшей структурной единицей любого регистра является триггер. Ознакомимся с одной из самых простейших разновидностей триггеров, так называемым *RS*-триггером, условное графическое обозначение которого показано на рис. 14,а. Как видно из рисунка, в схеме имеется два входных сигнала *R* и *S* и два выходных Q и $\overline{Q}$. Схема триггера изображена на рис. 14,б.

Входные сигналы *R* и *S* устанавливают триггер в нулевое или единичное состояние соответственно. Символами Q и $\overline{Q}$ обозначены прямой и обратный выходы, выходной сигнал с индексом *n* показывает текущее состояние триггера, а с индексом *n* 1 — предыдущее.

Рассмотрим порядок работы и устройство *RS*-триггера по ставшей нам уже привычной методике: от таблицы истинности к уравнению, от уравнения к схеме:

S	R	Q	Q	Q
0	0	0	0	1
0	0	1	1	0
1	0	0	1	0
1	0	1	1	0
0	1	0	0	1
0	1	1	0	1
1	1	0	?	?
1	1	1	?	?

Из таблицы видны закономерности взаимного соответствия входных и выходных сигналов: если на входе *R* логический нуль, то подача единицы на вход *S* устанавливает триггер по прямому выходу в единичное состояние независимо от предыдущего состояния; подача единицы на вход *R* устанавливает триггер в нулевое состояние. При нулевых входных сигналах триггер сохраняет предыдущее состояние. Одновременно подача единиц на *R* и *S* входы запрещена, так как при этом состояние триггера не определено (может быть любым).

По таблице истинности составим логическое уравнение, описывающее работу триггера:

$$Q_n=\overline{S}\cdot\overline{R}\cdot\overline{Q}_{n-1}+S\cdot\overline{R}\cdot\overline{Q}_{n-1}+S\overline{R}Q_{n-1}.$$

Упростим уравнение, пользуясь закономерностями булевой алгебры.

$$Q_n=\overline{R}(SQ_{n-1}+S\overline{Q}_{n-1}+SQ_{n-1})=$$
$$=\overline{R}(\overline{S}Q_{n-1}+S\overline{Q}_{n-1}+SQ_{n-1}+SQ_{n-1})=$$
$$=\overline{R}[S(Q_{n-1}+\overline{Q}_{n-1})+Q_{n-1}(S+\overline{S})]=$$
$$=\overline{R}(S+Q_{n-1}).$$

Полученное уравнение позволит нам без труда составить схему триггера. Как и ранее для других элементов, для этой схемы понадобились все те же «И», «ИЛИ» и «НЕ». При практической реализации *RS*-триггера чаще используют элементы «И — НЕ» или «ИЛИ — НЕ», но мы ведь знаем, что сами они, в свою очередь, состоят из все тех же трех исходных элементов.

Теперь, поняв, как работает триггер, легко разобраться в устройстве регистра. На рис. 15 показана схема разрядного регистра, выполненного

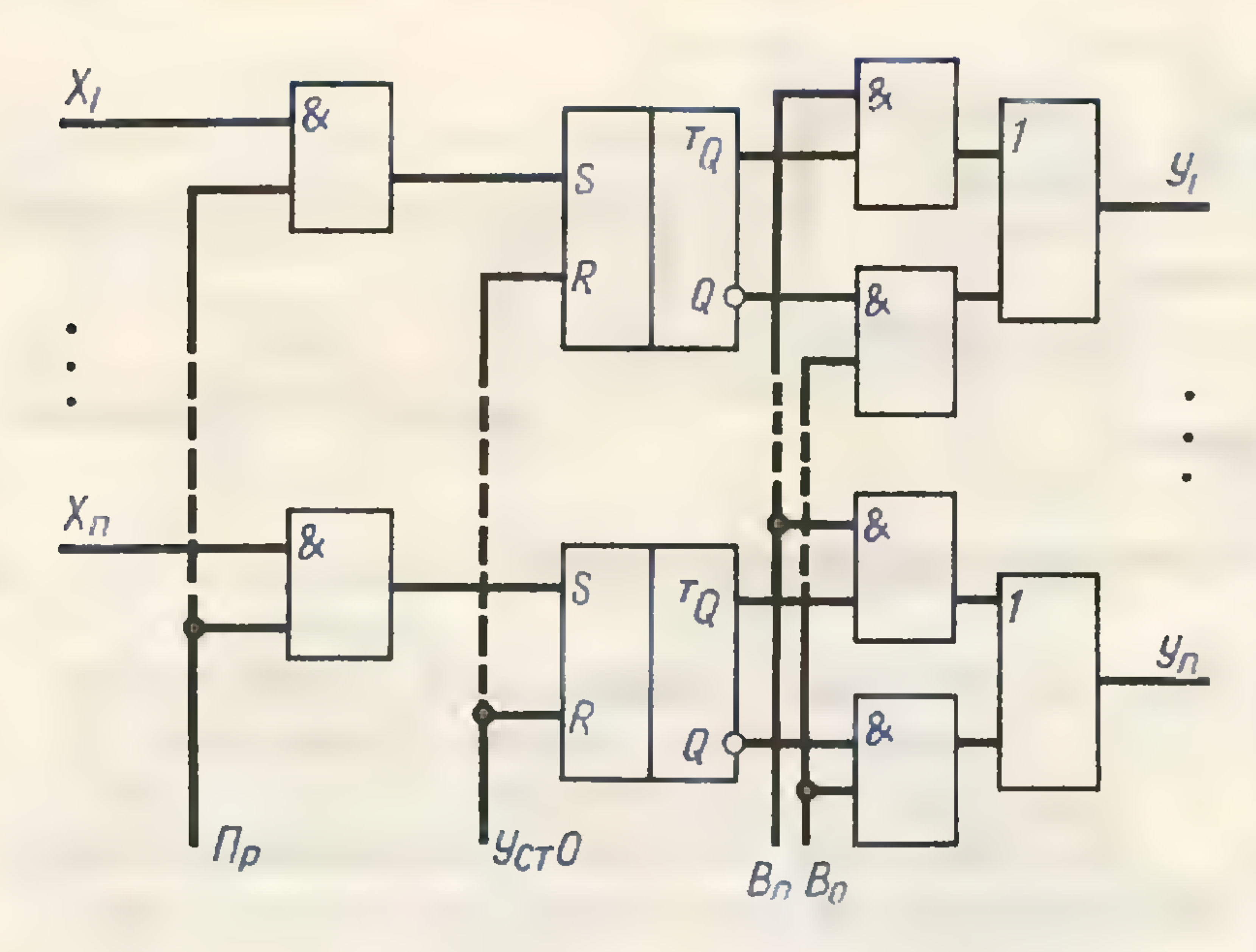


Рис. 15. Схема регистра

на *RS*-триггерах. Входными сигналами для регистра являются X_1 ... X_n, выходными — $Y_1 ... Y_n$. Сигналы «Пр», «УстО», «B_v» и «B_n» называются управляющими.

Сигнал «УстО» приводит триггеры всех регистров в состояние, при котором на их прямом выходе — логический нуль. Прием информации по входам X_1 ... X_n происходит только при наличии единицы на управляющем входе «Пр». При этом на вход триггера каждого регистра через схему «И» подается сигнал, совпадающий по значению с X.

В том случае если на соответствующем входе присутствует единица, триггер перебрасывается в единичное состояние, а если — нуль, то сохраняет прежнее. После снятия сигнала «Пр» триггер сохраняет принятое состояние и не реагирует на изменение входных сигналов. По сигналам «B_n» и «B_o» происходит выдача прямых и обратных сигналов с триггеров каждого разряда через соответствующие схемы «И» и «ИЛИ».

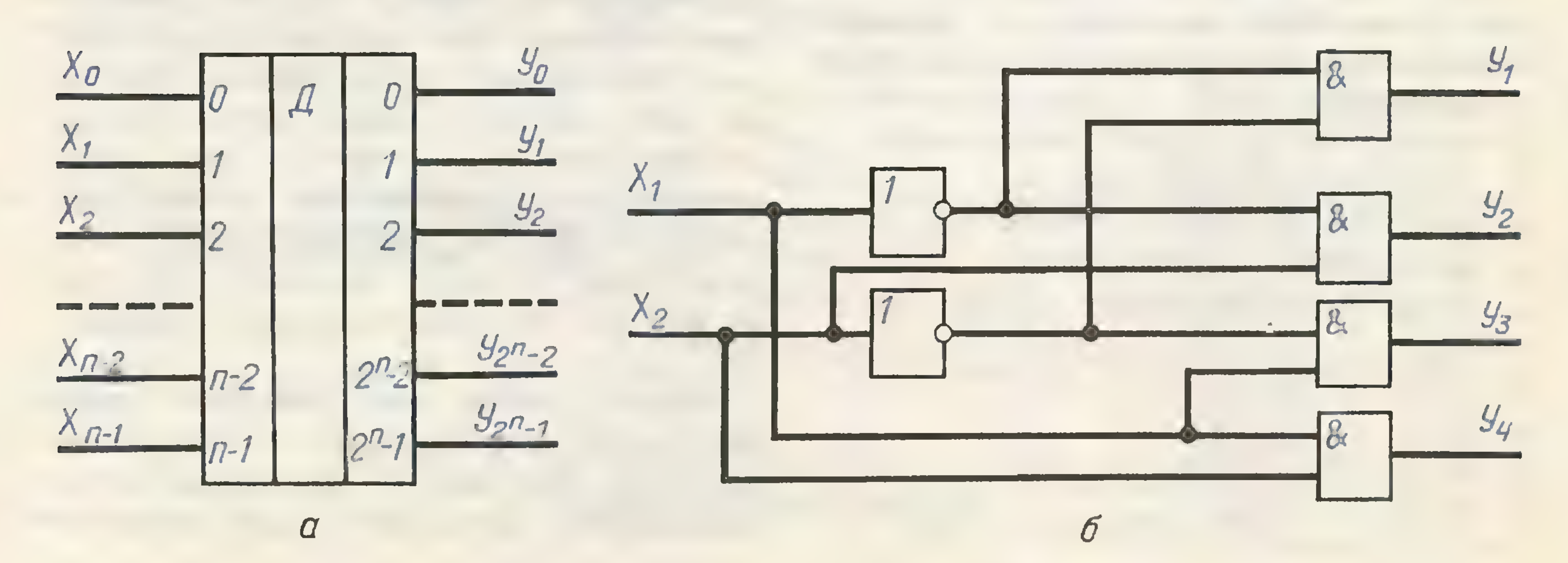
Во всех функциональных блоках вычислительных машин широко используются дешифраторы различных типов. Дешифратор — это логическая схема, служащая для преобразования кодового сигнала в управляющий. На рис. 16,а показано условное обозначение дешифратора. Смысл работы дешифратора в выдаче на каждую комбинацию входных сигналов определенного выходного сигнала. В общем случае, если имеется n входных сигналов, то им могут соответствовать 2^n выходных. Проще всего разобраться в работе дешифратора, ограничившись двумя входами. Составим таблицу истинности для такого элемента:

X_1	X_2	$У_1$	$У_2$	$У_3$	$У_4$
0	00	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

Из таблицы хорошо видно, что число возможных комбинаций при двух входах равняется 2^2, т. е. 4, каждой комбинации соответствует один из четырех выходных сигналов. Такая таблица состояний описывается системой из четырех уравнений:

$$У_1 = X_1 \cdot X_2$$
$$У_2 = X_1 \cdot X_2$$

Рис. 16. Условное графическое изображение дешифратора *а*. Схема дешифратора на два входа *б*.



$$У_3 = X_1 \cdot X_2$$
$$У_4 = X_1 \cdot X_2.$$

По этим уравнениям составим схему дешифратора на два входа, показанную на рис. 16, б.

И на этой схеме мы видим элементы «И», «ИЛИ» и «НЕ» и более ничего. Кроме описанных элементов в ЭВМ находят применение счетчики шифратора, преобразователи кодов, схемы сравнения, различные схемы управления и многое, многое другое. Теперь самый недоверчивый читатель убедился в возможности построить любую схему из исходных трех, для этого надо всего лишь понимать, как должно работать интересующее нас устройство. Понять «как» — это значит понять логику его работы, т. е. найти соответствие между входными и выходными сигналами, а дальше все просто: таблица истинности — уравнение — схема.

Итак, мы убедились, электронный мозг вычислительной машины — это собрание великого множества трех логических элементов, повторяющихся во всевозможных комбинациях и обеспечивающих функционирование всех ее узлов и машины в целом.

Описывая работу АЛУ и его важнейшего узла сумматора, мы разбирали арифметические операции, а как же мыслительные способности ЭВМ, неужели она умеет только считать? Тогда это просто электронные счеты. Конечно, ЭВМ может совершать логические операции, а как иначе — она ведь и состоит из логических элементов. На мой взгляд, удивительнее как раз обратное — как это она умеет считать?! Впрочем, и здесь нет ничего загадочного. Арифметику и многие другие (если не все) разделы математики можно (по мнению многих логиков и математиков) рассматривать как частные случаи алгебры множеств, во всяком случае, они так тесно связаны, что нет ничего странного в совпадении технических средств, реализующих логические и математические операции.

Логические операции могут производиться с числовой информацией, символьной или текстовой. Например, вычислительная машина может заданный ей беспорядочный набор чисел преобразовать в убывающий или возрастающий ряд, выбрать наибольшее или наименьшее число и т. д. А как же быть с символьной и тем более с текстовой информацией? Очевидно, она должна быть сначала закодирована, т. е. превращена в набор двоичных чисел, и в этом виде уже обрабатываться в машине.

Любой текст в ЭВМ превращается в набор единиц и нулей и в этом нет ничего нового — давно известна азбука (вернее, код) Морзе, имеющая всего два символа: точку и тире (чем не единица и нуль), при помощи которых можно передать любой текст от «Трех мушкетеров» до философского словаря, если знаков в азбуке не хватит (например, специальных физических, химических или даже музыкальных терминов), этот пробел можно легко восполнить, добавив новые комбинации точек и тире.

Пока машины чаще всего работают не с «живым» текстом, а специально подготовленным, формализованным в той или иной степени. Однако по мере совершенствования ЭВМ и их программного обеспечения происходит сближение машинного языка с естественным.

Фантасты начинают отставать

Каковы же перспективы совершенствования автоматических устройств и вычислительной техники, а также самих бесконтактных логических элементов?

Наверное, проще всего было бы обратиться к фантастам, но, мне кажется, они начинают отставать. Уже нашедшие себе применение инженерные разработки в области автоматики и ЭВМ воплотили практически все мечты фантастов. И если фантасты продолжают чем-нибудь поражать нас, так это в основном только масштабами применения автоматов, но никак не принципиальными вопросами. Автоматы и вычислительные машины уже умеют видеть, слышать (и понимать услышанное), говорить и писать на многих языках, переводить с одного языка на другой, осязать, обонять. Они умеют учить-

ся (самообучающиеся автоматы и ЭВМ).

Они начинают теснить человека в области творческой деятельности. Сейчас запланировано, например, создание цветного художественного фильма, сценарий которого будет написан ЭВМ; актеры не понадобятся, так как сниматься, в обычном понимании этого слова, фильм не будет — его нарисует вместе во всеми героями и декорациями сама ЭВМ. Об этом я не читал ни у одного из фантастов.

Но еще быстрее фантасты начинают отставать от ученых. В печати появились сообщения о попытках и первых удачах создания при помощи генной инженерии бактерий, продуктом жизнедеятельности которых являются молекулярные органические соединения, обладающие свойствами бесконтактных логических элементов.

Более того, планируется создание колоний таких бактерий, которые будут создавать из этих соединений, подобно тому как пчелы сообща строят соты, готовые функциональные блоки вычислительных машин. У кого из фантастов хватило бы воображения на такое?

Ученые-физики получили обнадеживающие результаты в исследовании возможности создания логических элементов на атомном уровне.

Осуществление всего этого расширит и без того почти неограниченные возможности ЭВМ за счет увеличения их быстродействия и расширения объема памяти. Надо ожидать интересных разработок в области математической логики, которые откроют новые, пока еще даже не предполагаемые возможности логических элементов и, может быть, новые их разновидности.

Что читать дальше?

Книги, подобные этой, принято заканчивать списком литературы, по возможности обширным. Я ограничусь несколькими советами, которыми могут воспользоваться желающие углубить полученные здесь знания.

Надо сказать, что большинство книг по данному вопросу стали библиографической редкостью.

Из сравнительно доступных изданий советую прочесть вышедшую в 1980 году в издательстве «Советское радио» работу И. М. Яглома «Булева структура и ее модели». Книга адресована неподготовленным читателям и не требует никаких специальных математических знаний. Посвящена она в основном булевой алгебре и алгебре множеств, имеются сведения по алгебре контактных схем. Книга снабжена достаточно подробным библиографическим указателем.

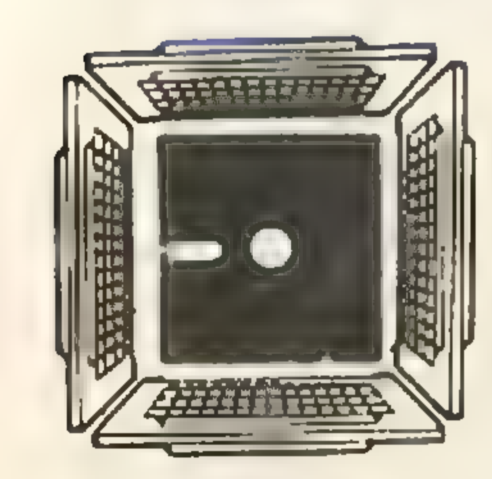
Как-то неудобно рекомендовать книгу, изданную в начале века, но если сможете достать, ознакомьтесь с вышедшей в 1907 году в Одессе «Алгеброй логики» Л. Кутюра, посвященной в основном алгебре высказываний, написанной хорошим, вполне современным языком и не требующей от читателя никаких предварительных сведений.

Из более современных изданий можно посоветовать учебник американских авторов Дж. Кемени, Дж. Снелла и Дж. Томпсона «Введение в конечную математику», изданную издательством «Мир» в 1965 году под редакцией И. М. Яглома.

В книге освещены многие вопросы математической логики (в том числе алгебры множеств, алгебры высказываний), затронуты некоторые, самые общие аспекты алгебры релейных схем. В ней много занимательных примеров и задач, написана она живо, увлекательно (в чем, наверное, немалая заслуга переводчика).

Целиком посвящена алгебре релейных схем и бесконтактным логическим элементам работа С. Колдуэлла (М.: ИЛ, 1962) «Логический синтез релейных устройств».

Конечно, надо постараться приобрести «Справочник по интегральным микросхемам» под редакцией Б. В. Тарабарина (М.: Энергоатомиздат, 1985) и практическое руководство в двух книгах «Применение интегральных схем» под редакцией А. Уильямса (М.: Мир, 1987).



Современный этап развития полупроводниковой электроники характеризуется созданием широкой номенклатуры и массовым выпуском интегральных микросхем с быстро растущей степенью интеграции и непрерывно совершенствующихся дискретных полупроводниковых приборов. Интегральные схемы занимают доминирующее положение в вычислительной технике и системах обработки информации.

Интегральные схемы для средств вычислительной техники

Н. В. ВОРОБЬЕВ

С конца 1961 года интегральные схемы в больших количествах поступили в продажу. Логические схемы, известные в настоящее время как стандартные ТТЛ ИС, появились в результате работ, проведенных в нескольких местах, но основа их заложена в 1961 году сотрудниками небольшой фирмы из Калвер-Сити (штат Колорадо, США), называвшейся Pacific Semiconductors Inc.

В 1962 году на основе планарного технологического процесса был создан новый тип полевых транзисторов, работающих на принципах использования только основных носителей, — полевой транзистор МДП-типа с изолированным затвором. Внедрение планарного процесса для группового изготовления схем на основе транзисторов МДП-типа обеспечило развитие нового схемотехнологического направления — МДП ИС, которые, так же как и биполярные ИС, стали использоваться прежде всего для построения логических схем и запоминающих устройств.

С момента появления МДП ИС началось параллельное развитие двух главных схемотехнологических направлений в области цифровых ИС — биполярных технологий и МДП-технологий, носящих характер соперничества, которое продолжается и, вероятно, будет продолжаться в будущем, поскольку преимущества биполярных и МДП ИС до конца еще не реализованы, а недостатки постоянно устраняются. Внутри этих двух больших категорий в зависимости от схем, материалов и особенностей обработки существует много различных технологических процессов. Ниже будут кратко рассмотрены схемы на базе промышленно освоенных технологий.

Биполярные технологии

Три основные биполярные технологии представлены транзисторно-транзисторной логикой (ТТЛ), эмиттерно-связанной логикой (ЭСЛ) и интегральной инжекционной логикой (И^{2}Л).

ТТЛ-схемы представляют собой самые массовые логические схемы с момента выпуска первого семейства ТТЛ-схем в 1964 году по настоящее время.

Принципиальная схема базового элемента широко распространенной серии К155 приведена на рис. 1а, а функциональное обозначение — на рис. 1б. Данный элемент выполняет функцию логического произведения с инверсией (И-НЕ). Схема содержит три основные части (на рисунке выделены пунктиром). Диоды **ЖД**1 — **ЖД**4 не выполняют функционального назначения, а служат для ограничения импульсов напряжения помехи отрицательной полярности, возникающих в линиях связи между элементами. Фазорасщепительный каскад управляет третьей основной частью схемы — выходным каскадом, способным отдать в нагрузку и принять от нагрузки большие токи. Резистор **Р**5 защищает элемент от воздействия короткого замыкания выхода на общую шину. К сожалению, ТТЛ-элементы не защищены от кратковременного замыкания выхода на шину источника питания. Так, если на всех входах ТТЛ-элемента действуют уровни

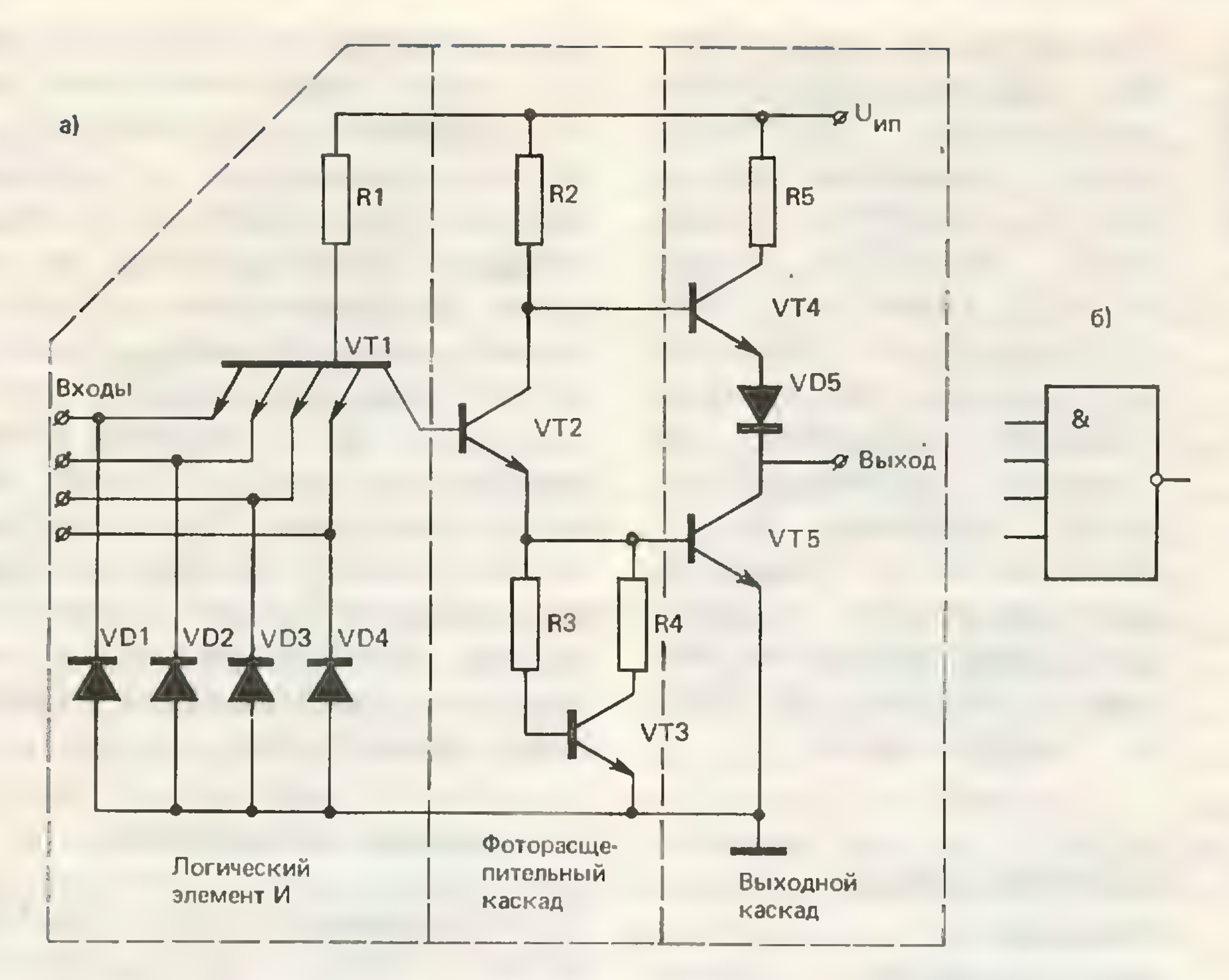


Рис. 1. Базовый ТТЛ-элемент:
а — принципиальная схема; б — функциональное обозначение

логической единицы, то в этом случае выходит из строя транзистор *VT5*.

В ТТЛ-схемах используются биполярные транзисторы в режиме насыщения, поэтому их динамические параметры существенно зависят от накопления и рассасывания избыточных зарядов в базах транзисторов. В настоящее время разработано большое количество модификаций ТТЛ-элементов. Модификация, как правило, преследует одну или несколько целей, среди которых можно выделить увеличение нагрузочной способности, уменьшение задержек распространения сигналов, увеличение уровней токов нагрузки, создание возможности объединения выходов элементов (монтажная логика), уменьшение мощности потребления, получение специальных элементов (например, И, индикации, контроля, И-ИЛИ-НЕ, преобразователей уровней и т. д.), увеличение порогового напряжения и логического перепада, получение парафазных выходов и т. п.

Наиболее интересна модификация ТТЛ-элемента с использованием транзисторов Шоттки и диодов Шоттки. Структура транзистора Шоттки и его обозначения приведены на рис. 2. Введение диодов Шоттки исключает накопление избыточных базовых зарядов, увеличивающих время выключения транзистора, и обеспечивает стабильность времени переключения в диапазоне рабочих температур. Такая модификация при той же мощности рассеяния элемента позволяет улучшить его динамические параметры в 5—10 раз либо при тех же динамических параметрах снизить в 5—10 раз мощность потребления. Среди общих достоинств ТТЛ-элементов можно выделить: схемно-технологическую отработанность и как следствие высокий процент выхода годных схем, низкую стоимость, широкий функциональный набор логических элементов, высокую помехоустойчивость, большую нагрузочную способность при приемлемых

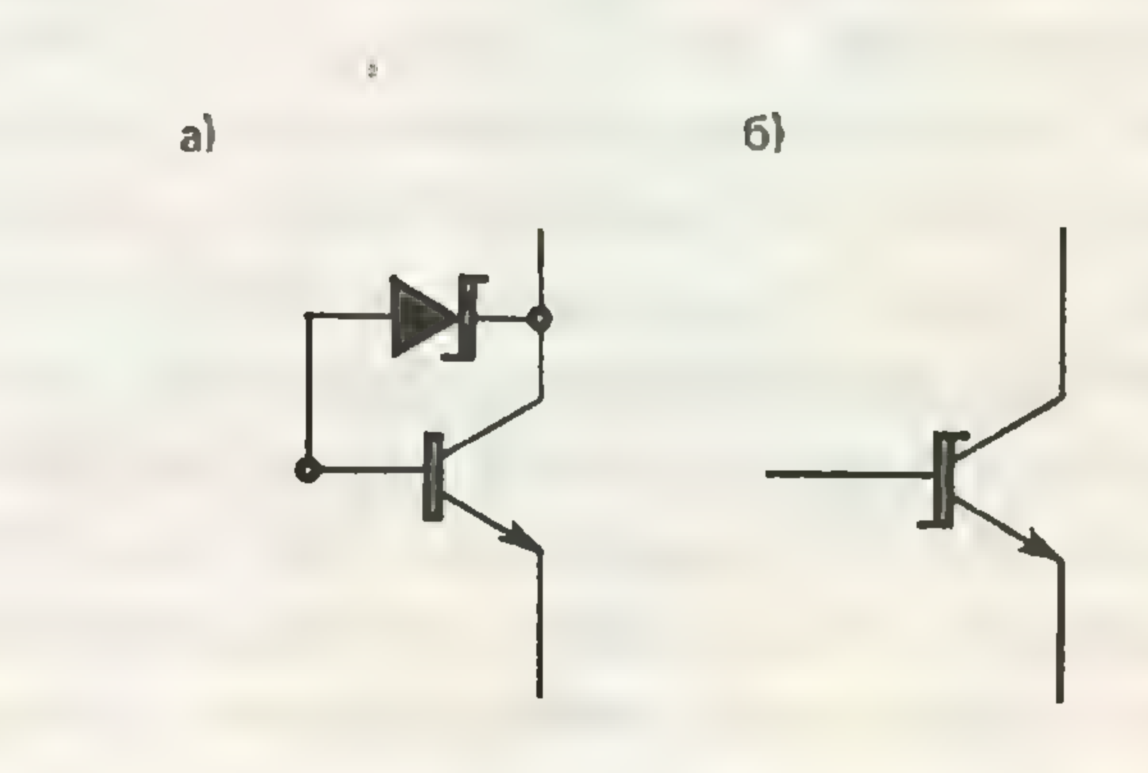


Рис. 2. Структура транзистора Шоттки а **и его обозначение** б

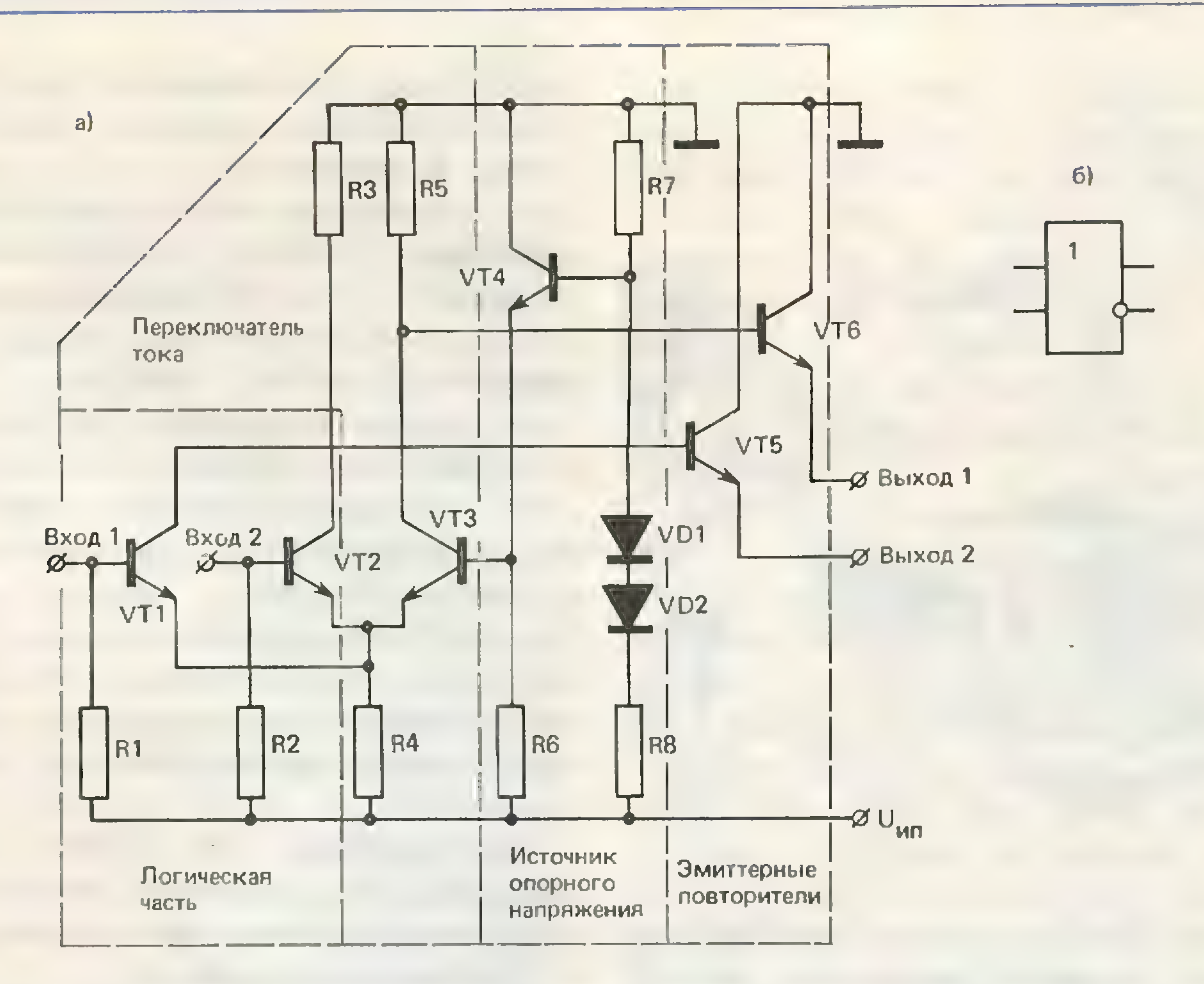


Рис. 3. Базовый ЭСЛ-элемент:
а — принципиальная схема; б — функциональное обозначение

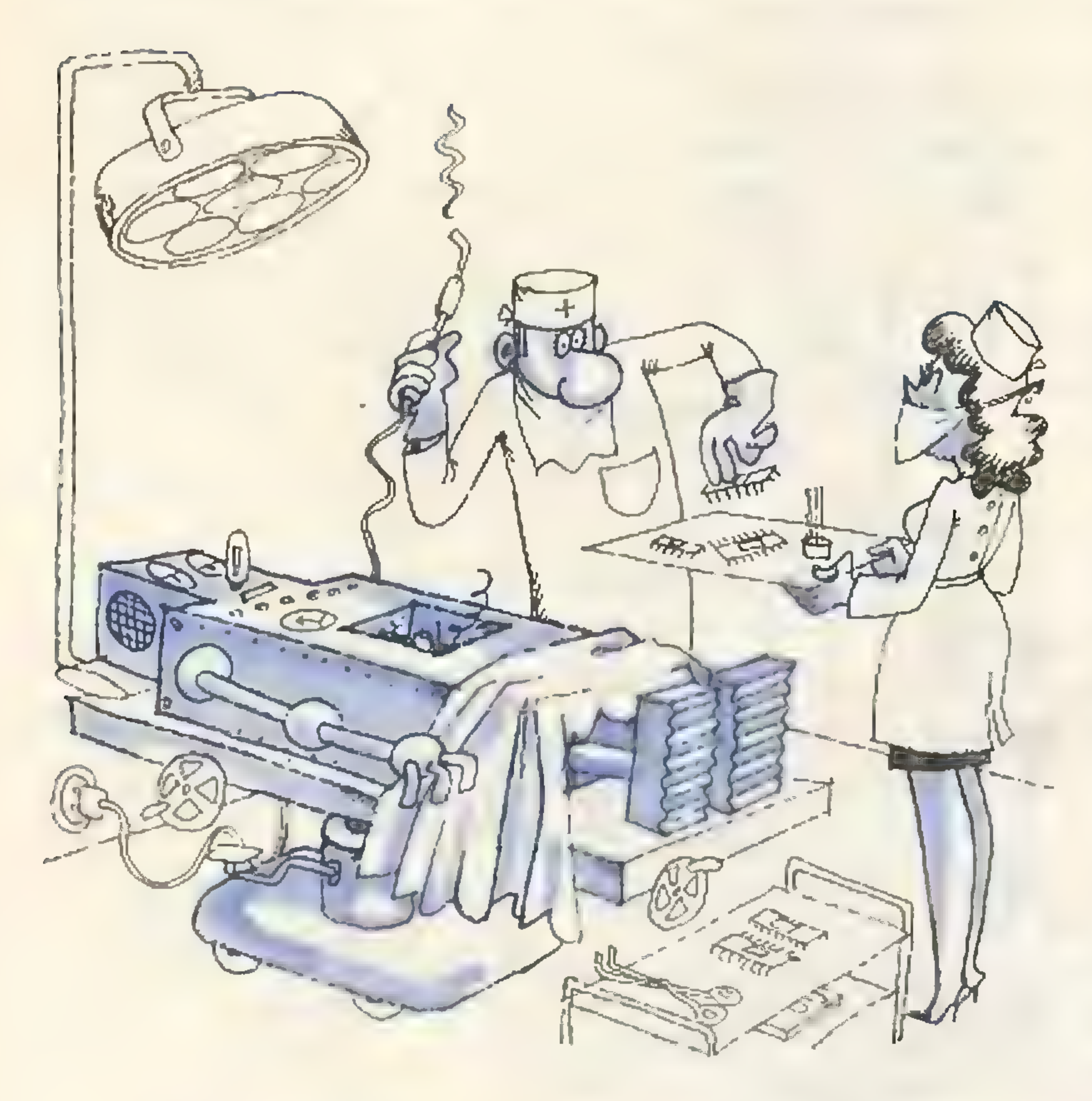
динамических параметрах. Модификации ТТЛ-элементов стали схемотехнической основой многих БИС и микропроцессорных БИС.

К недостаткам ТТЛ-элементов можно отнести: наличие скачков тока по цепям питания и земли при переключении ТТЛ-элементов, что, в свою очередь, накладывает ограничение на максимальную длительность фронтов входных сигналов (для серии К155 эта величина составляет 150 нс); даже кратковременное замыкание выходов на шину питания может привести к выходу из строя ТТЛ-элемента; со схемами, показанными на рис. 1,а, нельзя реализовать монтажную логику (для этих целей разработаны модификации ТТЛ-элементов с открытым коллектором и с тремя состояниями выхода).

Популярность и распространенность ТТЛ-элементов в настоящее время таковы, что логические схемы любой степени интеграции стали, по существу, стандартными для цифровой техники.

ЭСЛ-схемы представляют другое широко распространенное семейство биполярной технологии. Определяющим свойством этих схем является устранение возможности насыщенного режима работы биполярных транзисторов, что позволяет получить задержки распространения сигналов в диапазоне долей единиц наносекунд. В настоящее время ЭСЛ-схемы являются самыми быстродействующими. Опыт проектирования аппаратуры показывает, что применение ЭСЛ-схем рационально для построения быстродействующих радиоэлектронных устройств, в частности ЭВМ высокого быстродействия, и менее эффективно при разработке радиоэлектронных устройств малого и среднего быстродействия.

Принципиальная схема базового элемента широко распространенной серии 500 приведена на рис. 3а, а функциональное обозначение — на рис. 3б. Данный элемент выполняет функцию логического сложения и логического сложения с инверсией (ИЛИ, ИЛИ-НЕ). Наличие парафазных выходов существенно увеличивает функциональные возможности ЭСЛ-схем. Схема содержит четыре основные части: 1. Логическая часть схемы. Количество логических входов определяется количеством транзисторов в данной группе. Резисторы Р1 и Р2 служат для надежного запирания неиспользуемых входных транзисторов, они имеют сопротивле-



ние около 50 кОм, причем требования по точности этого номинала весьма слабые. 2. Переключатель тока. Величина тока задается резистором $R4$. Резисторы $R3$ и $R5$ являются определителями тока, т. е. указывают, в какой цепи течет ток. 3. Источник опорного напряжения (—1,2 В), которое подается на базу транзистора $VT3$. Величина опорного напряжения составляет полусумму уровней логического нуля (—1,6 В) и логической единицы (—0,8 В). Диоды VD^1, VD^2 обеспечивают температурную стабилизацию величины переключаемого тока. 4. Выходные эмиттерные повторители работают совместно с внешними нагрузочными резисторами. Основное назначение внешних резисторов — в смещении выходных напряжений для обеспечения совместимости входных и выходных уровней напряжений.

Для достижения еще больших логических возможностей ЭСЛ-элементов, в частности для реализации «монтажного ИЛИ» по выходам, выводы эмиттеров транзисторов $VT5$ и $VT6$ делают изолированными, что позволяет объединять несколько эмиттеров различных логических элементов и подключать к ним только один внешний нагрузочный резистор. Нагрузочные резисторы выполняются как набор резисторов в тех же корпусах, что и логические элементы.

Высокое быстродействие ЭСЛ-элементов обеспечивается тремя основными факторами:

— активным режимом работы транзисторов в обоих логических состояниях элемента, благодаря чему устраняются этапы накопления и рассасывания избыточных зарядов;

— использованием низкого значения логического перепада, благодаря чему уменьшается время заряда и разряда собственных емкостных составляющих схемы;

— использованием на выходах элемента эмиттерных повторителей, обеспечивающих значительные токи для перезаряда емкостной составляющей нагрузки.

Микросхемы на основе ЭСЛ-схем имеют ряд достоинств, среди которых все достоинства рассмотренных выше ТТЛ-схем, кроме того:

— высокое быстродействие при средней потребляемой мощности или сверхвысокое быстродействие при большой потребляемой мощности;

— высокая стабильность динамических параметров при изменении температуры и напряжения питания;

— способность работать на низкоомные согласованные линии связи;

— возможность реализации монтажной логики;

— применение двух- и трехуровневого переключения тока для еще большего расширения логических возможностей ЭСЛ-элемента;

— возможность конструктивного снижения уровня помех в системах, выполненных на ЭСЛ-элементах.

К недостаткам ЭСЛ-элементов можно отнести:

— высокую потребляемую мощность при субнаносекундных задержках;

— более узкий температурный диапазон работы по сравнению с ТТЛ-элементами;

— относительно большую площадь, занимаемую вентилем на кристалле ($>10^4$ мкм^2);

— проблематично применение ЭСЛ-элементов в сверхбольших интегральных схемах СБИС, хотя они с успехом используются в БИС.

И^{2}Л-схемы являются третьим широко распространенным схемотехническим направлением биполярной технологии. Прежде всего необходимо отметить, что если ТТЛ- и ЭСЛ-элементы были разработаны для реализации интегральных схем, то И^{2}Л-схемы — для создания БИС и СБИС на основе биполярных транзисторов. Схемы малой и средней степени интеграции на И^{2}Л-элементах не выпускаются.

Принципы, на которых основано «конструктивное» и схемное отличие И^{2}Л-элементов от других биполярных схем, заключаются в использовании совмещения электрически связанных однородных областей полупроводника в одном кристалле. В этих схемах традиционный способ питания цепей базы и коллектора транзисторов через резисторы заменен непосредственным введением избыточных подвижных носителей заряда в базу переключаемых транзисторов.

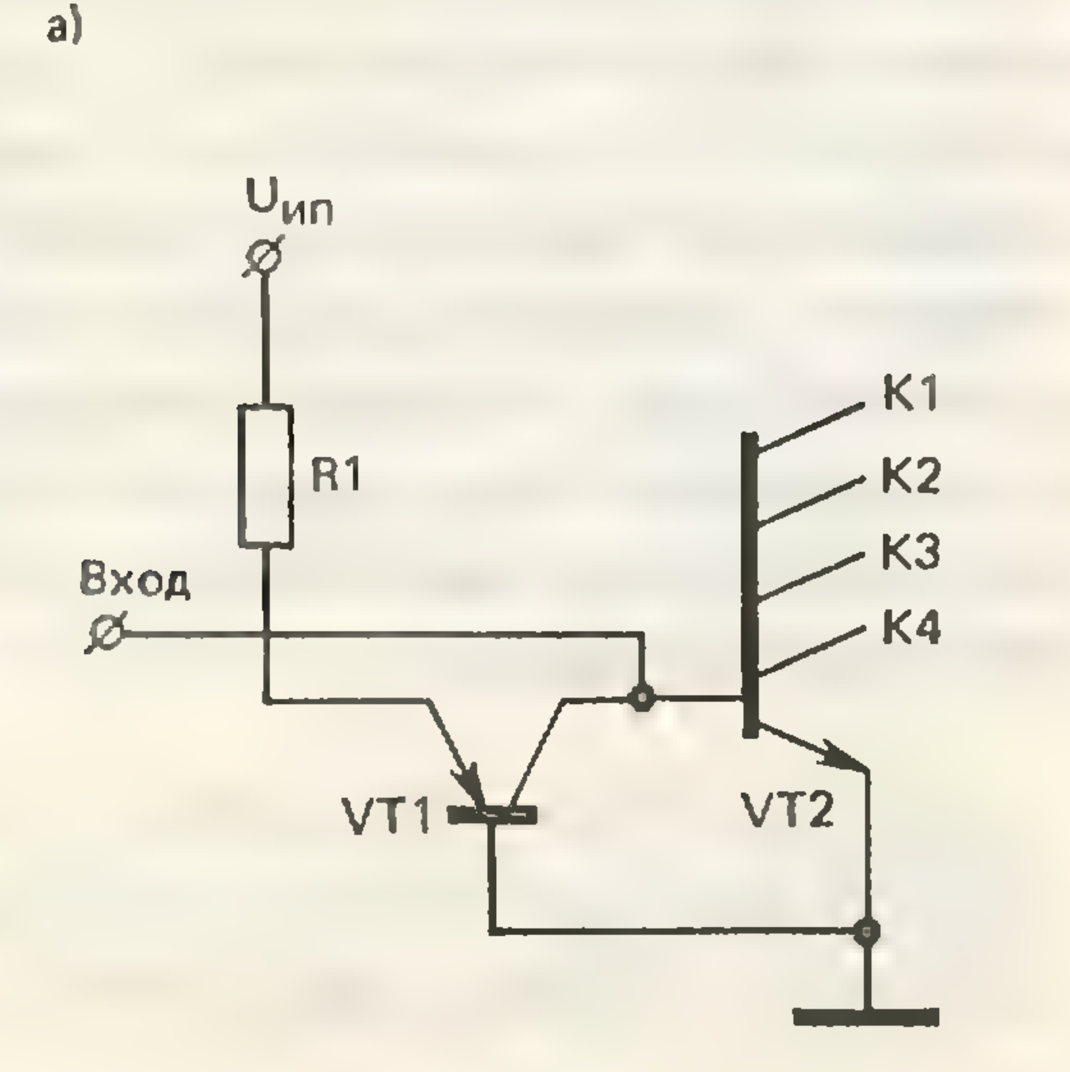
Разработанные вначале как логические элементы для БИС и СБИС И^{2}Л-элементы сейчас широко применяются для создания БИС памяти, микропроцессорных наборов, базовых кристаллов, разнообразных аналоговых устройств.

Базовый И^{2}Л-элемент содержит *p-n-p* транзистор, который генерирует постоянный ток (через внешний резистор), поступающий на базу многоколлекторного переключающего *n-p-n* транзистора (рис. 4*а*). Логический вход, «О» или «1», соответствует закороченной или разомкнутой цепи в базе транзистора VT^2. Базовый вентиль представляет собой инвертор, поскольку цепь базы закорочена, то транзистор находится в выключенном состоянии, обеспечивая на выходе разомкнутое состояние цепи, а если цепь базы будет разомкнута, ток включит транзистор, закорачивая тем самым его выходы на землю. С помощью трех вентилей-инверторов, как показано на рис. 4б, можно организовать логический элемент ИЛИ.

Для изготовления подобных структур можно использовать технологический процесс с четырьмя фотошаблонами, эквивалентный по сложности базовой технологии схем МДП-типа. Это рекорд в биполярной технологии.

Стремление к увеличению быстродействия таких схем и их логической гибкости привело к разработке большого числа интегральных структур и разнообразных схемотехнических вариантов базового ключа. Одним из важнейших направлений развития инжекционных схем стало использование в них диодов Шоттки. При этом достигается увеличение быстродействия благодаря ограничению степени насыщения ключевого *n-p-n* транзистора (шунтирование перехода база — коллектор), использованию в качестве перехода база — коллектор диода Шоттки (транзистор с металлическим коллектором), уменьшению логических перепадов в схеме (последовательное включение диодов Шоттки в цепь «коллектор предыдущего *n-p-n* транзистора — база последующего»).

Рис. 4. Базовый И^{2}Л-элемент:
***а* — принципиальная схема; *б* — реализация функции ИЛИ**



б)
1
1
1
x_1
x_2
$Y = x_1 + x_2$

С использованием диодов Шоттки возможно увеличение функциональной логической гибкости — объединение входов с помощью диодов Шоттки (логическая функция И).

К достоинствам $И^2Л$-элементов можно отнести:

— возможность работы в широком диапазоне токов (10^{-9}—10^{-2} А);

— возможность сохранения логического состояния $И^2Л$-схем переводом их в режим микротоков, когда они не работают в предельном частотном режиме или вообще должны находиться в нерабочем состоянии;

— простоту разветвления сигнала на выходе за счет добавления коллекторов в ключевом транзисторе;

— чрезвычайно низкую мощность рассеяния и высокую плотность компоновки (малая площадь на кристалле $3 \cdot 10^2$ мкм^2), что делает ее идеальной для СБИС;

— возможность создания инжекционно-полевых структур, для чего заменяют ключевой транзистор на полевой с вертикальным каналом (в этом направлении ведутся большие исследования).

Основной недостаток $И^2Л$-элемента: площади коллекторов меньше площади эмиттера, т. е. транзистор работает в инверсном включении. Это в значительной степени определяет технологию изготовления $И^2Л$-элементов и создает основные трудности при их реализации. К недостаткам интегральных схем инжекционно-полевой логики следует отнести прежде всего технологические трудности получения и воспроизведения геометрических размеров канала при массовом производстве схем. Несмотря на большие успехи в области разработки БИС и СБИС на $И^2Л$-элементах, разработчикам и технологам предстоит решить еще много сложных задач.

Основные требования, предъявляемые к элементной базе БИС и СБИС, — высокая плотность элементов на кристалле, малая мощность рассеяния и технологичность структур при достаточно высоком выходе годных и низкой их стоимости.

Для повышения плотности компоновки совершенствуют полупроводниковую технологию. В частности, уменьшают линейные размеры компонентов, увеличивают площадь кристалла до такой степени, когда производство базовых кристаллов остается еще экономически целесообразным, а также увеличивают функциональные возможности базового элемента, применяют схемотехнику, обеспечивающую большую плотность компоновки в интегральном исполнении, упрощают схему, в частности, исключением буферных усилителей на входе или выходе логических элементов.

Снижение мощности рассеяния кристаллов матричных БИС и СБИС возможно при уменьшении напряжения питания, уменьшении логического перепада, совершенствовании добротности полупроводниковых компонентов, применении многоярусных схем на переключателях тока и др.

К наиболее распространенным разновидностям и модификациям элементов логических биполярных схем можно отнести: низкоуровневую эмиттерно-связанную логику (НУ ЭСЛ), эмиттерно-функциональную логику (ЭФЛ), базосвязанную логику (БСЛ), интегральную инжекционную логику ($И^2Л$), непороговую логику (НПЛ), многоуровневую переключательную логику (МУПЛ), эмиттерно-эмиттерную логику (ЭЭЛ, $Э^2Л$), разнообразные модификации ТТЛ-элементов: маломощные ТТЛ (МТТЛ), ТТЛ-схемы с диодами Шоттки (ТТЛШ), маломощные ТТЛШ (МТТЛШ), ТТЛ-элементы с повышенным порогом переключения ($Т^3Л$) и др.

Оценивая современное положение в области технологии биполярных схем, необходимо отметить, что она переживает подлинное возрождение в связи с переходом в область субмикронных размеров. Об этом убедительно свидетельствует возобновление работы в США конференции по биполярным схемам и технологиям их изготовления после примерно 20-летнего перерыва.

МОП-технологии (р-МОП, n-МОП и КМОП)

Преимущества МОП ИС были известны с самого начала: процесс их изготовления значительно проще, чем для биполярных ИС, так как число необходимых технологических операций уменьшалось более чем в 2 раза; они потребляли гораздо меньшую мощность и, следовательно, допускали более высокий уровень интеграции, чем биполярные приборы, и наконец, их изготовление обходилось дешевле. Эти схемы, однако, не были лишены и недостатков: их производству мешали дефекты в окисле; они были чрезвычайно чувствительны к статическим зарядам — небольшое перенапряжение могло пробить тонкий окисел и мгновенно разрушить МОП-транзистор. Кроме того, рабочие напряжения МОП ИС были значительно выше, чем рабочие напряжения серий логических биполярных интегральных схем, выпускавшихся в то время; МОП ИС обладали значительно меньшим быстродействием, чем биполярные схемы. К настоящему времени большинство из этих недостатков устранено.

Канал МОП-транзистора представляет собой легированный кремний *p*- или *n*-типа, что определяет тем самым *p*-МОП и *n*-МОП-технологию. Несмотря на простоту изготовления, *p*-МОП-технология была повсеместно вытеснена *n*-МОП-технологией вследствие более высокого быстродействия. Изготовители МОП-приборов обнаружили, что можно существенно повысить быстродействие, если заменить *p*-канальные структуры структурами с каналом *n*-типа. Этот переход был сложным, так как прецизионное легирование в случае *n*-МОП-структур осуществить гораздо сложнее, чем при изготовлении *p*-канальных структур. Однако повышение быстродействия было очевидным: носители в канале *n*-типа (электроны) движутся быстрее, чем носители в *p*-канале (дырки).

В третьей основной МОП-технологии используются как *n*-, так и *p*-МОП-транзисторы. Она называется комплементарной МОП-технологией (КМОП). Комплементарные структуры оказались удивительными. От скромного начала в качестве медленно действующих структур с металлическими затворами и малой плотностью упаковки элементов, использовавшихся в ИС наручных часов, они прошли через этапы уменьшения размеров элементов, перехода на изоляцию окислом, замены металлических затворов на кремниевые. Это позволило увеличить быстродействие и плотность упаковки элементов, так что КМОП-структуры смогли соперничать с *n*-МОП-структурами, рассеивая при этом в режиме покоя порядка микроватт.

Основное преимущество всех МОП-технологий — относительная простота производственных процессов и высокая плотность компоновки. Поэтому МОП-технологии применялись почти во всех без исключения приложениях БИС, обеспечивая тем самым выпуск чрезвычайно недорогих изделий (например, микропроцессоров и больших кристаллов памяти).

Базовый *n*-МОП-вентиль представляет собой инвертор (*p*-МОП-вентиль имеет идентичную структуру при противоположной полярности источника питания). Этот вентиль состоит из двух транзисторов (рис. 5) — ключевого *VT1* и нагрузочного *VT2*. Нагрузочный транзистор всегда включен и ведет себя как постоянный резистор с большим сопротивлением, поэтому на рис. 5 он обобщенно представлен в виде резистора. В открытом состоянии ключевой транзистор имеет сопротивление в 20 раз меньше, чем на-

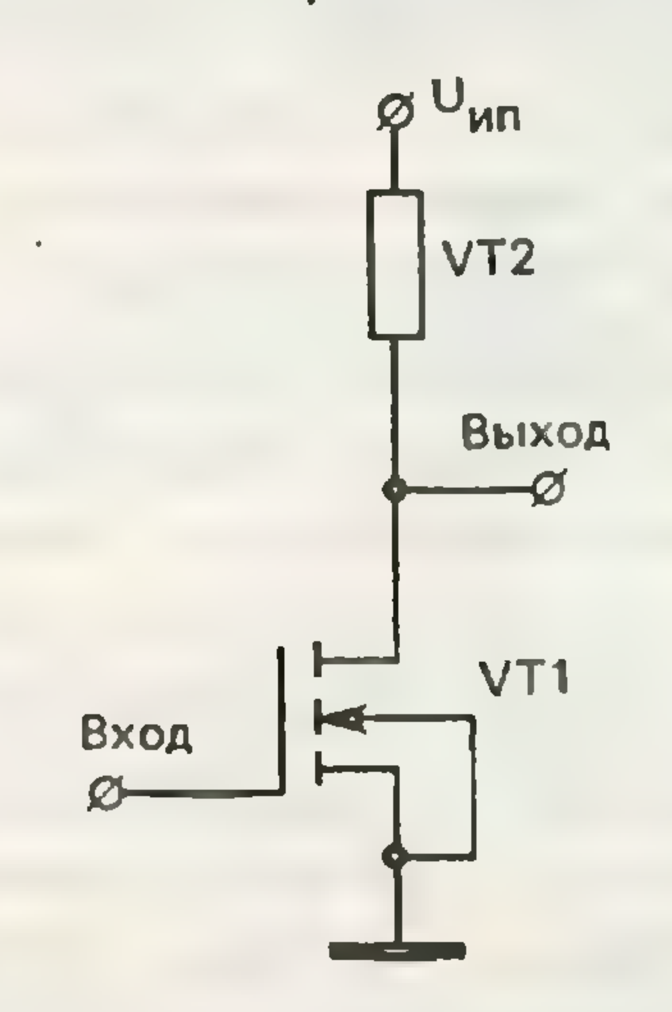


Рис. 5. Схема инвертора на n-МОП-транзисторах

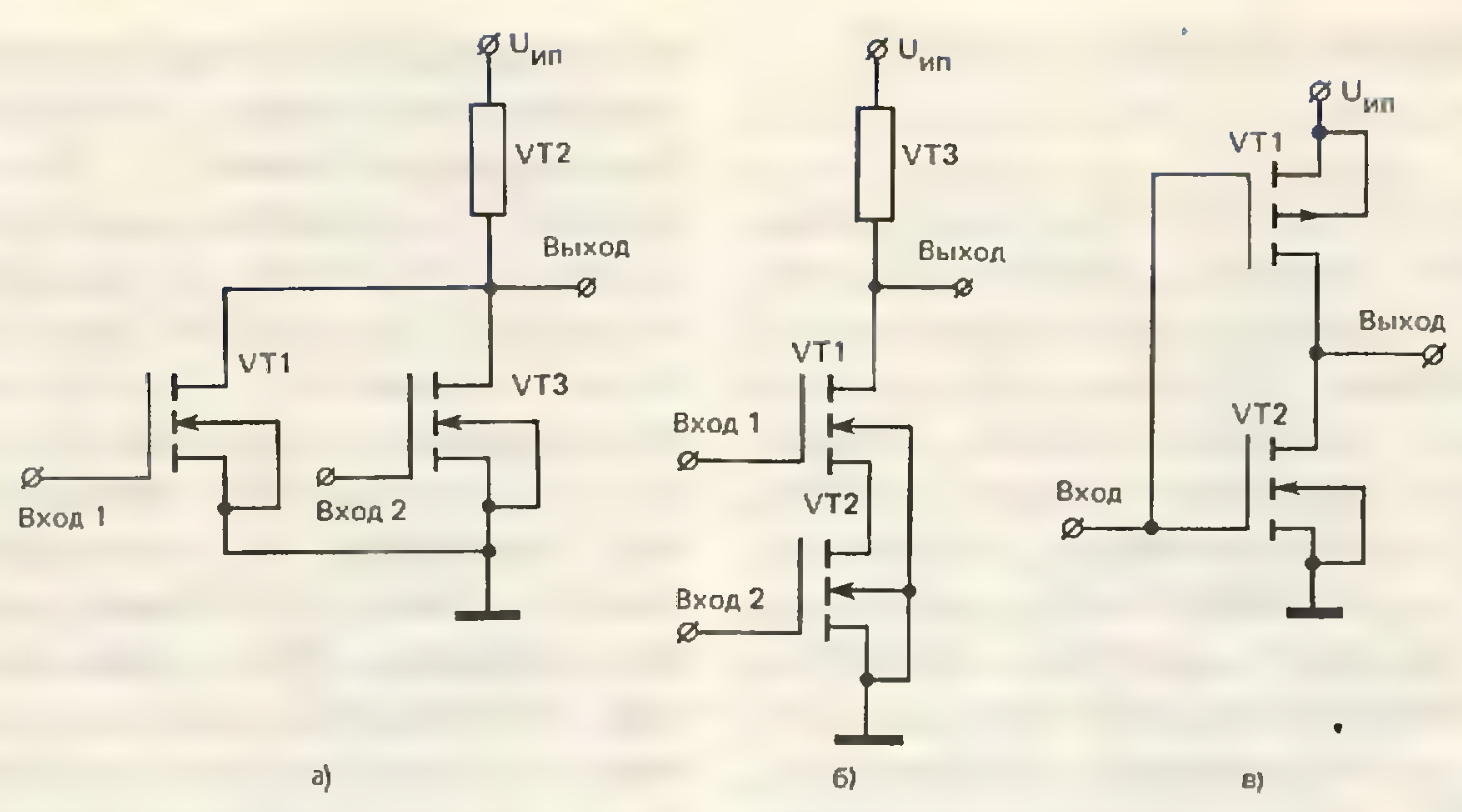


Рис. 6. Схема логических элементов на n-МОП-транзисторах:
а — ИЛИ-НЕ; б — И-НЕ; в — схема инвертора на КМОП-структуре

грузочный. Когда транзистор VT1 включен ($U_{вых}=U_{и.п}$), напряжение $U_{вых}$ близко к потенциалу земли ($U_{вых}=0$). Когда транзистор VT1 выключен ($U_{вых}\approx 0$), $U_{вых}$ приблизительно равно потенциалу источника питания $U_{и.п}$

Если параллельно соединить два ключевых транзистора, то получим логический элемент ИЛИ=НЕ (рис. 6а), если же ключевые транзисторы соединить последовательно, то получим логический элемент И=НЕ (рис. 6б). Поскольку в схеме И=НЕ уровень логического нуля определяется суммарным сопротивлением последовательно включенных ключевых транзисторов, необходимо обеспечить меньшее их сопротивление, чем в схемах инвертора или ИЛИ-НЕ. Это достигается увеличением ширины канала, т. е. увеличением геометрических размеров структуры логического вентиля. Следовательно, схемы ИЛИ-НЕ более предпочтительны. Поскольку транзистор VT2 не переключается, а работает только как пассивный резистор, в p- и n-канальных схемах имеется асимметрия в длительности спада и подъема на выходе. Считают, что спад — это активный процесс, а подъем — пассивный. Различие в длительности может быть до порядка.

Поскольку в p-канальных МОП-схемах полярности тока и напряжения противоположны полярности в n-канальных МОП-схемах, то они могут применяться как комплементарные пары для формирования базового инверторного вентиля (рис. 6в). Такое свойство позволяет формировать почти симметричный инвертор (существуют некоторые отличия в подвижности носителей), в котором включается только один транзистор. С помощью двух комплементарных пар транзисторов могут быть получены логические элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ. В элементе И-НЕ, изображенном на рис. 7, транзисторы p-типа включены параллельно, транзисторы n-типа — последовательно. Элемент ИЛИ-НЕ создается из последовательно включенных транзисторов p-типа и параллельно включенных транзисторов n-типа.

Замечательное свойство КМОП-схем выражено в том, что потребление тока возможно только во время

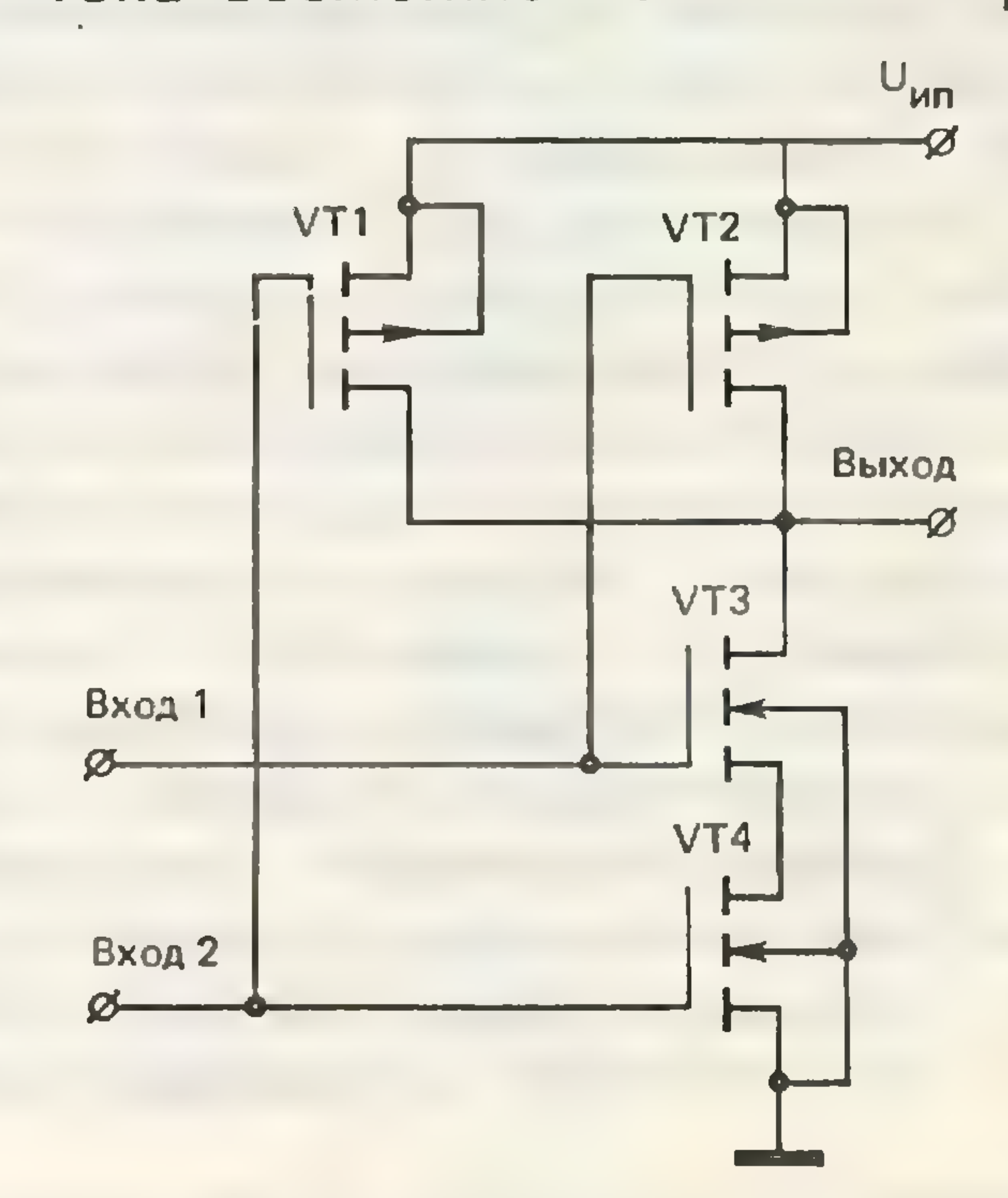


Рис. 7. Схема логического элемента И-НЕ на КМОП-структуре

переключения, когда происходит заряд и разряд емкостной составляющей нагрузки логических элементов. В этом довольно просто удостовериться, если вспомнить, что в комплементарной паре один транзистор всегда выключен. Мощность рассеяния растет с ростом частоты тактирования. Это дает огромное преимущество при изготовлении схем памяти, причем существующие *n*-канальные МОП-схемы по мощности рассеяния приближаются к тепловому барьеру (примерно 1—2 Вт на корпус).

Как бы ни были велики нынешние достижения электронной техники и технологии, в настоящий момент (80-е годы) они представляют собой всего лишь основу для дальнейшего огромного роста быстродействия, плотности упаковки и сложности логических, запоминающих, микропроцессорных и других схем.

В заключение отметим, что сегодня (80-е годы) используется лишь 50% тех реальных возможностей, которые микроэлектроника в действительности способна предложить промышленности. Предполагается, что через 20 лет будут реализованы все эти возможности на 100%.

ЛИТЕРАТУРА

Преснухин Л. Н., Воробьев Н. В., Шишкевич А. А. Расчет элементов цифровых устройств: Учеб. пособие / Под ред. Л. Н. Преснухина. — М.: Высшая школа, 1982.

Баринов В. В., Орликовский А. А. Сверхбыстродействующие элементы кремниевых цифровых БИС: / Учеб. пособие по курсу «Микросхемотехника». — М.: РИО, МИЭТ, 1981.

Шило В. Л. Функциональные аналоговые интегральные микросхемы. — М.: Радио и связь, 1982.

Пономарев М. Ф., Коноплев Б. Г., Фомичев А. В. Базовые матричные кристаллы: Проектирование специализированных БИС на их основе. — М.: Радио и связь, 1985.

Применение интегральных микросхем в электронной вычислительной технике: Справочник / Р. В. Данилов, С. А. Ельцова, Ю. П. Иванов и др. / Под ред. Б. Н. Файзулаева, Б. В. Тарабарина. — М.: Радио и связь, 1986.

Электроника: прошлое, настоящее, будущее. — М.: Мир, 1980 (специальный выпуск журнала «Электроника» 1980. — № 9.

Бернард Конрад Коул. Активное возрождение биполярной технологии // Электроника. — 1986. — № 18. — С. 48—51.



Дорогие читатели! Приходилось ли вам в вашей работе ощущать поддержку умного помощника — компьютера? Если нет, то он поможет вам в работе очень скоро. Компьютеры настолько активно вторгаются в нашу жизнь, что остаться за пределами компьютеризации сейчас вам практически не удастся! Приходите в Московский городской центр информатики и в другие центры, которые уже открыты или будут открыты в ближайшее время в вашем городе, в вашем районе, на вашей улице. Что же это за центры, которые помогут решить ваши профессиональные проблемы!

Московский центр информатики

БУСЛЕНКО В. Н.,
КОБРАНОВ М. Е.

Центры информатики — в решении проблем информатизации общества

Созданный в 1987 году Московский городской центр информатики, а также центры, открытые и планируемые к открытию в ближайшее время во всех районах столицы СССР, столицах союзных республик и крупных городах страны, оснащенные современными персональными ЭВМ, способствуют превращению персональных компьютеров в реального и действенного помощника каждого гражданина, в средство резкого повышения его интеллектуальных возможностей. Неограниченное расширение круга лиц, в том числе не являющихся специалистами в области вычислительной техники, которые могут в любой момент войти в непосредственный контакт с персональной ЭВМ для оперативного решения самых различных задач, открывает большие перспективы. Центры информатики, образованные под эгидой Государственного комитета СССР по вычислительной технике и информатике, являются организациями принципиально нового типа. Они призваны поднять на качественно гораздо более высокий уровень индустрию информационных услуг и сыграть значительную роль в информатизации нашего общества.

До образования центров информатики компьютеризация общества не носила массового характера, она внедрялась избирательно, главным образом в научно-исследовательских институтах, в первую очередь в машиностроительных и приборостроительных отраслях. При этом не имели никаких контактов с компьютером врачи, биологи, учителя, деятели культуры и

искусства и представители многих других самых разных профессий, а также студенты, особенно нетехнических вузов, и тем более школьники, дети — те, кому жить и творить в XXI веке! Таким образом, многие области нашей деятельности в силу своей специфики были буквально отлучены от средств автоматизации умственной деятельности.

Центры информатики призваны решить важную задачу — ликвидировать указанную диспропорцию в использовании персональных ЭВМ. Расширение сети центров информатики и коллективный характер использования их мощных вычислительных ресурсов способствуют скорейшему решению проблемы распределения и внедрения средств вычислительной техники, резко повышают эффективность использования персональных компьютеров, производимых нашей промышленностью.

Создание сети центров информатики способствует интенсивному развитию экспертных систем. В эти центры приходят профессионалы — представители самых разных специальностей, выразители всех видов человеческой деятельности. Они приходят для повышения производительности своего умственного труда, для решения задач, находящихся на острие развития соответствующих направлений науки и техники, культуры и искусства.

В процессе работы они проводят системный анализ в рамках рассматриваемой проблемы, разрабатывают алгоритмы решения задач, получают оригинальные математические модели и, взаимодействуя с машиной, вводят в нее всю эту уникальную информацию, в которой сконцентрированы в формализованном виде их специальные знания и профессиональный опыт. В центрах информатики происходит концентрация программных средств широчайшего диапазона — от развлекательных игровых программ до программ, предназначенных для решения сложных задач в различных проблемных областях. Таким образом, в центрах информатики происходит накопление формализованного человеческого интеллекта в программном виде. Здесь производится не только формализация, но и унификация интеллекта, формирование и постоянное пополнение базы знаний, которая на определенном этапе своего развития позволит решать недоступные сейчас вследствие своей сложности народнохозяйственные задачи.

С образованием сети центров информатики созданы все условия для накопления больших информационных массивов, для формирования мощных банков данных и обмена информацией между ними. Такая информационная сеть позволит решить многие проблемы, связанные с организацией как локальных систем информации, так и государственной автоматизированной информационной системы.

Сеть центров информатики, охватывая постепенно всю территорию страны, интенсивно и широко взаимодействуя как с коллективными, так и с индивидуальными пользователями, должна оказать неоценимую помощь в решении проблемы маркетинга — изучения пользовательского спроса на все виды информационно-вычислительных услуг, что должно послужить основой формирования соответствующей научно-технической политики, текущего и перспективного планирования развития индустрии информатики страны. Центры информатики должны привести в действие мощный механизм обратной связи, воздействующий на разработку и производство вычислительной техники важнейшие и определяющие этапы их жизненного цикла.

Центры информатики вносят большой вклад в подготовку специалистов в широком диапазоне специализаций, в формирование необходимых знаний у широких слоев населения для свободного общения со средствами вычислительной техники и информатики. В частности, досуговая, развлекательная форма взаимодействия с компьютером способствует формированию у людей позитивных эмоций и конструктивных навыков. Она лишена недостатков традиционных форм обучения, стажировки, повышения квалификации, при которых программы обучения консервативны, негибки и рассчитаны на «усредненного» слушателя. Обучение в центрах информатики строится на принципах дифференцированного подхода к обучаемому контингенту, на отсутствии жестких требований «обязательности» при прохождении курса, на неформальном общении с людьми, переступающими порог этой необычной организации.

Что же такое Московский городской центр информатики

Есть старинная индийская притча о слепцах, ощупывающих слона и выносящих свои суждения. Расскажем вам современную притчу о Московском городском центре информатики.

...Пришла однажды в Московский центр информатики группа специалистов, посмотрели специалисты кругом да и говорят:

— Это типичный вычислительный центр, ведь здесь предоставляют машинное время и сдают в аренду персональные ЭВМ...

— Да нет же, это просто выставка, своеобразный музей. Здесь водят экскурсии, показывают лучшие образцы отечественных персональных ЭВМ...

— Это типичное учебное заведение, что-то вроде факультета повышения квалификации, здесь обучают и проводят стажировку по работе с персональными ЭВМ.

— Вы не туда смотрели, главное — это магазин, здесь продают и покупают программные средства, торгуют информацией...

— Обыкновенный досуговый центр, каких много. Посмотрите: видеосалон, кафетерий, компьютерные игры, видите — сюда приходят отдохнуть...

— Самое главное не досуг, а профессиональные консультации. Здесь можно получить справку по любым проблемам информатики. Это что-то вроде профессионального справочного бюро...

— Ничего вы не поняли, это просто кооператив по оказанию услуг населению.

Так или примерно так станут рассуждать узкие профессионалы, про которых еще Козьма Прутков сказал, что их «полнота подобна флю-

су». Но тем не менее все они будут в чем-то частном, безусловно, правы. Московский городской центр информатики — это и вычислительный центр, и факультет повышения квалификации, и музей, и центр досуга, и кооператив, и справочное бюро и еще многое-многое другое, о чем мы с вами даже не подозреваем... Но в то же время это новая, необычная и непривычная организация, где персональный компьютер соседствует с чашечкой кофе, наука мирно уживается с кассовым аппаратом, а выставка достижений народного хозяйства дружит с магазином программных средств. И не только мирно уживаются и дружат, а все вместе интенсивно работают на решение грандиозной задачи информатизации нашего общества!

Заглянем и мы теперь в эту диковинную штуковину — Московский городской центр информатики Государственного комитета СССР по вычислительной технике и информатике. Доезжаем до метро «Парк Культуры» и едем на троллейбусе «Б» две остановки в сторону Смоленской площади. Остановка «Смоленский бульвар». Адрес: **Смоленский бульвар, дом 4.** Войдем. Две стрелки: гардероб, касса... Интересно: значит, надо снимать верхнюю одежду, как в музее. Рядом с гардеробом действительно касса, у кассы прейскурант. Новое дело, значит, нужно платить деньги!? Посмотрим за что, и сколько нужно платить (за 1 час):

1. Аренда в центре информатики персональной ЭВМ «Электроника 85» без устройства печати — 2 руб.
2. Аренда в центре информатики устройства печати к персональной ЭВМ «Электроника 85» — 1 руб.
3. Аренда в центре информатики программного средства для персональной ЭВМ «Электроника 85», персональной ЭВМ ЕС-1840, персональных ЭВМ «Роботрон 1715», «ДВК-2» по цене до 100 руб.— 50 коп.
4. Аренда в центре информатики программного средства для персональной ЭВМ «Электроника 85», персональной ЭВМ ЕС-1840, персональных ЭВМ «Роботрон 1715», «ДВК-2» по цене от 100 до 1000 руб. — 1 руб.
5. Аренда в центре информатики программного средства для персональной ЭВМ «Электроника 85», персональной ЭВМ ЕС-1840, персональных ЭВМ «Роботрон 1715», «ДВК-2» по цене свыше 1000 руб. — 5 руб.
6. Аренда в центре информатики персональной ЭВМ «Роботрон 1715» — 1 руб.
7. Аренда в центре информатики устройства печати к персональной ЭВМ «Роботрон 1715» — 1 руб.
8. Аренда в центре информатики персональной ЭВМ ЕС-1840 без устройства печати — 1 руб. 50 коп.
9. Аренда в центре информатики устройства печати к персональной ЭВМ ЕС-1840 — 1 руб.
10. Аренда в центре информатики микро-ЭВМ «ДВК-2» — 1 руб. 25 коп.
11. Обучение языкам программирования Бейсик, Паскаль, Фортран (курс лекций, группа 5—10 чел.) — 3 руб.
12. Индивидуальное обучение языкам программирования Бейсик, Паскаль, Фортран — 8 руб.
13. Аренда в центре информатики персональной ЭВМ «Агат» с набором игровых программ — 1 руб. 50 коп.
14. Аренда в центре информатики персональной ЭВМ бытового назначения — 60 коп.
15. Справочно-информационные услуги — 20 коп.
16. Продажа программных средств бытового и игрового назначения (на кассетах типа МК 60) — от 5 до 15 руб. (в зависимости от количества программ на одном носителе).

Вот собирается группа и приходит экскурсовод. И мы идем туда, куда торопливо прошмыгнула стайка ребятишек и чинно прошествовали взрослые, влекомые своими детьми. Куда? Ну конечно, в игровой зал!

— Надо же так сказать, — сетует оператор, — назвать зал компьютерных игр залом игровых автоматов. Сетуют, но не обижаются, дело новое, да и народная мудрость гласит: «Хоть горшком назови, только в печь не ставь». А здесь на дисплее печь сама блины печет, а задача игрока донести эти блины, не уронив, до сидящего за столиком человечка ... Хлоп, хлоп, падают блины на пол ... Появляется надпись: КАКОЙ УЖАС! ВЫ УРОНИЛИ 5 БЛИНОВ! Оператор вставляет новую дискетку и, вызвав на дисплей каталог игр, предлагает вам сразиться в «смертельной схватке» с червячком в запутанном лабиринте. И не страшно, что компьютер здесь выполняет функции детской игрушки. Ребенку, конечно, все равно с чем играть, но если с малых лет его первым партнером в игре становится добрый компьютер, то он остается его другом на всю жизнь!

В этот зал стремятся и школьники и дошкольники. Примерно с четырехлетнего возраста ребенок уже совершенно уверенно нажимает на кнопки, смело общается с дисплеем, легко обучается в процессе игры работе с этим подлинным чудом XX века — компьютером!

Не только родители приводят сюда своих малолетних детей, но и ... дети приводят сюда своих вполне взрослых родителей! Через детскую игру, через зону досуга происходит вовлечение в сферу информатики очень широкого контингента всех возрастов и профессий! Любопытно наблюдать, как, отбросив взрослую серьезность, влекомые детским любопытством, мамы и папы, бабушки и дедушки увлекательно «режутся» в компьютерные игры, легко преодолев тот пресловутый «психологический барьер», которым так знаменита проблема компьютеризации. Здесь дети, которые об этом барьере «не подозревают» (какой барьер, когда перед вами друг, партнер по играм) перетаскивают через этот «барьерный риф» своих родителей, на глазах которых пресловутый компьютер из уникального технического чуда превращается в детскую игрушку!

Осваивая компьютерные игры, ребенок впитывает основополагающие системные принципы компьютеризации: интерактивный режим общения, игровой подход к решению «многокритериальных» задач, основы программного управления вычислительным процессом. Все те координальные во взрослом мире и тривиально обыденные в игровом принципы «общения человека и машины».

Но игра это не просто развлечение, это модель будущей взрослой деятельности. Освоив принципы компьютеризации в игровом общении, познав на практике широчайшие возможности вычислительной техники, дети легко перенесут их в мир своих, сначала учебных, а потом и профессиональных проблем.

Продолжим нашу увлекательную прогулку. Какие еще сюрпризы приготовил нам Центр информатики? Открываем следующую дверь ... но что это? Не удивляйтесь, это еще один элемент досуговой зоны — видеобар, а попросту говоря, кафе с видеомагнитофоном. На экране мультфильмы, за столиками посетители, на столиках кофе и пирожные ... все привычно и в то же время необычно, необычно прежде всего своим соседством с информатикой, с современными персональными ЭВМ.

Дело в том что в Центр информатики вы можете прийти всей семьей, прийти и отдохнуть и поработать. Захватите своих детей, которые проведут время в диалоге с игровой программой, пока вы будете решать свои профессиональные задачи. Приводите свою жену, мужа, они смогут выпить кофе и расслабиться перед телеэкраном...

Можно ли привести свою семью к себе на работу для ... отдыха? Где и когда можно, придя с семьей, отдохнуть ... решить и свои профессиональные проблемы? Нигде ... только в Центре информатики! Но не будем особенно акцентировать внимание на досуге, Центр информатики — это прежде всего сама информатика!

Если контакт с компьютером в игровом режиме — первый шаг к информатике, то обучение — шаг второй.

Зал индивидуального обучения

Мы привыкли к обучению с детства ... Школа, техникум, вуз, факультет повышения квалификации ... поэтому слово обучение в особых комментариях не нуждается.

Однако слово обучение в нетрадиционном его смысле слабо отражает специфику того процесса, который происходит в этом зале. Освоение, погружение, «натаскивание» — вот, пожалуй, те синонимы, которые позволяют построить более верную модель происходящего...

В зале индивидуального обучения нет ни вступительных, ни выпускных экзаменов, нет фундаментальных курсов и семинарских занятий. Здесь удовлетворяется конкретная насущная потребность, формируются практические навыки работы с тем или иным программным средством на той или иной персональной ЭВМ.

Обучение проводится на следующих типах ПЭВМ:

— ЕС-1840;
— «Роботрон 1715»;
— «Электроника 85».

В зале обучения проводятся консультации по проблемам выбора и внедрения вычислительной техники на предприятиях, а также лекции по теме «Основы информатики».

Принципиальной особенностью индивидуального обучения является наличие у каждого учащегося персональной машины и присутствие рядом опытного консультанта, который в режиме «делай, как я» погружает будущего профессионала в среду информатики прикладной.

Наличие насущной потребности в освоении конкретного программного или технического средства, присутствие консультанта, а также то обстоятельство, что за обучение нужно платить конкретные наличные деньги (до 5 руб. за час), повышает коэффициент полезного действия как обучающего, так и обучаемого в несколько раз.

Пройдя несколько этапов индивидуального освоения, клиент поднимается еще на одну ступеньку информатизации, переходит в следующую категорию пользователей — профессиональную!

Зал профессиональных пользователей

В этом зале фактически продолжается процесс освоения программных средств, однако реализуется он в новом режиме — в режиме стажировки. Однако этот зал открыт и для свободного посещения. В этот «народный ВЦ» может прийти любой человек с улицы и, заплатив символическую плату (до 2 руб. в час), получить возможность, которая еще до недавнего времени предоставлялась лишь высоким профессионалам на закрытых территориях вычислительных центров НИИ и КБ.

Здесь установлена серьезная профессиональная персональная вычислительная техника: ЕС-1840, «Электроника 85», «Роботрон 1715».

Кто же посещает этот «народный ВЦ», каков контингент? Самый широкий ... от пионеров до пенсионеров. Отладить программу, оформить и обсчитать курсовую, приготовить таблицы и графики для статьи, отпечатать перевод и отредактировать текст стихотворения ... Чего только не делают на персональных ЭВМ.

В профессиональном зале можно встретить не только и не столько профессиональных программистов (они так или иначе имеют доступ к персональным ЭВМ), сколько профессионалов в других, как смежных, так и далеких от программирования, областях. Да и само название зала говорит о его функции — профессионального пользования персональными ЭВМ с целью повышения производительности своего личного труда.

Профессиональные врачи и переводчики, профессиональные бухгалтеры и строители, профессиональные архитекторы и поэты и многие другие хотят автоматизировать свой труд, переложив большинство в основном рутинных операций на компьютер, оставив груз творческих за собой.

Автоматизация профессиональной деятельности, которая осуществляется в Центре информатики профессиональными пользователями персональных ЭВМ является совершенно особой формой информатизации общества, на которой следует отдельно остановиться.

Каждого приходящего в Центр информатики профессионала необходимо рассматривать как представителя определенной социальной,

профессиональной и интеллектуальной группы. Автоматизация его профессиональных навыков, автоформализация профессиональных знаний открывает перспективы для широкого внедрения информатики в сферу деятельности всех представителей данной группы. И. Ньютон както заметил, что он «видел дальше других, так как стоял на плечах гигантов». Персональный компьютер, хранящий знания, навыки и информационную технологию определений профессиональной группы, позволяет каждому начинающему специалисту, по образному выражению И. Ньютона, «стоять на плечах гигантов» в своей профессиональной области. Значения этого аспекта информатизации общества трудно переоценить!

Итак, профессиональные пользователи Центра информатики, решая свои проблемы, помогают и Центру информатики и всему обществу решать важнейшие социальные задачи!

Специалисты такого класса стоят уже на следующей ступени информатизации, они являются не только пользователями ЦИ, но и его поставщиками, поставщиками нового вида продукции — программного обеспечения. Центр информатики покупает у них на комиссионных началах их знания, опыт, навыки в виде одной из самых динамичных форм хранения информации — в виде машинной программы! Приобретенные Центром информатики программные средства тиражируются и распространяются затем по наличному и безналичному расчету через первый в стране Магазин программных средств ГКВТИ СССР. Он расположен в следующем зале ЦИ.

Лекционно-демонстрационный зал

Лекционно-демонстрационный зал предназначен для проведения групповых занятий, демонстрации средств вычислительной техники, а также покупки и продажи программных средств. Этот зал представляет собой компьютерную выставку достижений народного хозяйства, своеобразный «музей будущего», того недалекого будущего, когда ПЭВМ станут необходимым атрибутом каждого рабочего места.

Здесь представлены все имеющиеся в Центре информатики средства ВТ: ЕС-1840, «Электроника 85», «Роботрон 1715», «Агат», а также бытовые компьютеры БК0010, «Микроша» и комплекс учебной техники «Корвет».

Здесь проходят групповые занятия школьников и учащихся ПТУ, работа кружков и клубов, любительских объединений и студенческих программистских отрядов, жаркие дискуссии и серьезные семинары.

Одна из самых интересных функций и зон лекционно-демонстрационного зала — магазин программных средств! Все здесь как в обычном магазине. Вот витрина, на ней — образцы товаров и цены, но товар-то больно необычный — программы для компьютеров. Саму программу ни увидеть, ни потрогать нельзя — это набор импульсов, нулей и единиц машинного кода. Можно увидеть магнитный носитель — дискету, на которую записана программа, можно полистать описание, которое входит в комплект продажи, можно, наконец, приобрести все это и на своей персональной машине, обогатиться теми знаниями и навыками, которые так надежно «законсервированы» и всегда «готовы к употреблению» в виде машинной программы.

Как и в любом хорошем магазине, товар можно «примерить», т. е. опробовать на одной из имеющихся в зале ПЭВМ. Если «примерка» показала пригодность, удобство, надежность и другие потребительские качества товара — платите деньги в кассу или заключайте договор на поставку партии по безналичному расчету, и вы — счастливый обладатель интеллектуального богатства, надежно запакованного в магнитном носителе с программой. Что же имеется в продаже?

Для «Роботрон 1715»: операционная система SCP, язык программирования БЕЙСИК; редактор текстов РЕФОР, система управления базами данных РЕБУС; электронная таблица СПРИНТ.

Для ЕС-1840: операционная система М86, MS DOS, Микрос; язык программирования БЕЙСИК; электронная таблица АБАК.

Для «Электроники МС 0585»: операционная система ПРОС; язык программирования БЕЙСИК; редакторы текстов РЕДАК и РТД.

Для БК 0010: кассета с игровыми программами на ФОКАЛе.

И многое, многое другое.

И наконец, справочно-информационный центр. Это своеобразный мозг всей деятельности центра информатики, его память, диспетчерская служба, формирующая алгоритм обслуживания посетителя.

Здесь предлагается для продажи еще один вид интеллектуальной продукции — информация! Любые справки и консультации по всем проблемам информатики. Начиная от проблем, решаемых самим центром, и заканчивая вопросами, выходящими за его пределы, но входящими в его компетентность. Продавая информацию (часовая консультация стоит 5 руб.), консультанты стремятся предоставить клиенту хотя бы приблизительный расчет экономической эффективности полученной информации, т. е., говоря попросту, сколько денег он сэкономит, приобретая информацию. Ведь даже самый простой вопрос о перспективности той или иной модели персональной ЭВМ может дать несколько тысяч рублей «годовой экономии».

Подобный подход к информации весьма полезен, он приучает относиться к информации, говоря экономическим языком, «рачительно», как к товару, как к ресурсу, который можно вложить в дело, а можно и пустить на ветер.

Справочно-информационный центр — место встречи посетителей с центром информатики, именно сюда приходит человек с улицы, здесь он становится клиентом, т. е. человеком, уяснившим свои проблемы, нашедшим их решение, включившимся в процесс информатизации.

Вот и закончилось наше путешествие по Московскому городскому центру информатики, но пока не решены еще все проблемы информатизации, не решены ваши проблемы, читатель. Поэтому, чтобы их решить, а также «один раз увидеть», ждем вас у нас в центре!

А 76 Аппаратный состав ЭВМ (Интегральные схемы логических операций). — М.: Знание, 1988. — 48 с. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Вычислительная техника и ее применение»; 5).
15 к.

В доступной, занимательной форме брошюра рассказывает о возникновении и развитии теории бесконтактных логических элементов, о наиболее выдающихся ученых, внесших вклад в эту науку. Показаны важнейшие положения теории логических элементов, без которых невозможно понять принципы работы современной автоматики и вычислительных машин. Освещены некоторые вопросы практического применения логических элементов и перспективы их развития

2404000000 ББК 32.973



РОЛЬ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
В УСКОРЕНИИ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

Научно-популярное издание

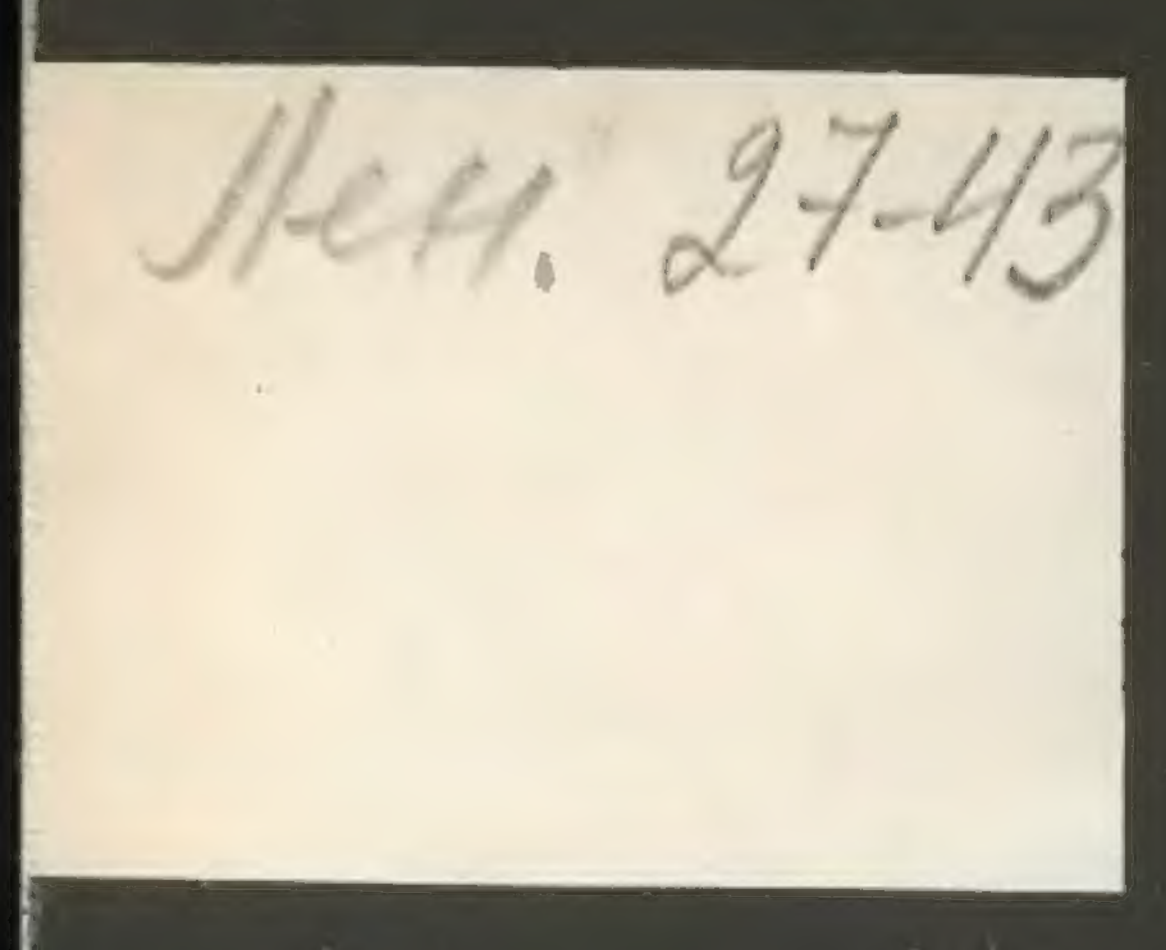
АППАРАТНЫЙ СОСТАВ ЭВМ
(интегральные схемы логических операций)

Гл. отраслевой редактор Л. А. Ерлыкин
Редактор Б. М. Васильев
Мл. редактор Н. А. Васильева
Художники В. Н. Конюхов и К. Н. Мошкин
Худож. редактор М. А. Гусева
Техн. редактор А. М. Красавина
Корректор Е. К. Шарикова

ИБ № 9229

Сдано в набор 28.01.88. Подписано к печати 21.03.88. Т-05352. Формат бумаги 70×100[1]/[16]. Бумага офсетная № 2. Гарнитура журнально-рубленая. Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,90. Усл. кр.-отт. 8,45. Уч.-изд. л. 4,31. Тираж 65 303 экз. Заказ 1772. Цена 15 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 884705. Ордена Трудового Красного Знамени Калининский полиграфический комбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 170024, г. Калинин, пр. Ленина, 5.

Цена 15 коп. Индекс 70195





Подписная научно-популярная серия

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ

Дорогой читатель!

Брошюры этой серии в розничную продажу не поступают, поэтому своевременно оформляйте подписку.
Подписка на брошюры издательства «Знание» ежеквартальная, принимается в любом отделении «Союзпечати».